

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta
katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



HODNOCENÍ MENTÁLNÍCH MAP V GIS

ASSESSMENTS OF MENTAL MAPS IN GIS

Diplomová práce

Bc. Martina Kynčlová

září 2010

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Tomáš Hudeček, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze, je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Jilemnici dne 5. září 2010

.....
Martina Kynčlová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala RNDr. Tomáši Hudečkovi, Ph.D. za vedení mé práce, RNDr. Jakubu Lysákovi za cenné rady, připomínky a nadstandardní ochotu při hledání odpovědí na mé dotazy a Mgr. Filipu Polonskému za poskytnutí souboru mentálních map světa ze svého výzkumu. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodině a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Hodnocení mentálních map v GIS

Abstrakt

Práce se zabývá možnostmi hodnocení mentálních map pomocí nástrojů GIS. Hlavním cílem je vytvoření souboru metod pro hodnocení tvarové, polohové a relativní přesnosti mentálních map, jejichž principy budou založeny na metodách GIS. Důraz je kladen na co nejvyšší univerzálnost a automatizaci postupu hodnocení. U každé navržené metody jsou dále diskutovány její výhody a nevýhody.

Nejprve je v práci nastíněna problematika mentálních map, následuje stručné seznámení s technologiemi GIS a možnostmi jejich využití v oblasti mentálních map. Hlavní část práce je věnována popisu a praktickým ukázkám jednotlivých metod hodnocení. V závěru práce je vedena diskuze nad navrženými metodami a o vhodnosti využití GIS v této problematice obecně.

Tato diplomová práce vznikla v rámci projektu č. 26609 s názvem "Mentální mapy: předmět a prostředek k hodnocení" podpořeného Grantovou agenturou Univerzity Karlovy.

Klíčová slova: mentální mapy, GIS, hodnocení přesnosti

Assessments of Mental Maps in GIS

Abstract

This work deals with the possibilities of assessments of mental maps using GIS tools. The main goal is to create a collection of methods to evaluate positioning and relative accuracy of mental maps. The method principles are based on methods of GIS. The emphasis is on maximum versatility and automation the assessment procedure. For all proposed methods there are further discussed the advantages and disadvantages.

First part of this work deals with the theme of mental maps, followed by a brief introduction to GIS and their use in the field mental maps. The main part is devoted to the description and practical examples of evaluation methods. At the conclusion there is a discussion of the proposed methods and the appropriateness of use GIS at this issue in general.

This work was created under the project No. 26609 called "Mental Maps: Object and Device for Assessment" supported by the Grant Agency of Charles University.

Key words: mental maps, GIS, assessments of accuracy

OBSAH

Obsah.....	5
Seznam obrázků.....	7
Seznam tabulek a grafů	8
1 Úvod a cíle práce.....	9
1.1 Úvod.....	9
1.2 Cíle práce.....	9
2 Mentální mapy	11
2.1 Definice mentální mapy.....	11
2.2 Rozdělení mentálních map.....	12
2.3 Tvorba mentální mapy.....	14
2.4 Hodnocení mentálních map	14
2.5 Možnosti využití mentálních map	15
3 Geografické informační systémy (GIS).....	17
3.1 Definice GIS	17
3.2 Možnosti využití GIS	18
3.3 Software ArcGIS.....	18
3.3.1 Představení software ArcGIS.....	18
3.3.2 Nástroje pro analytické zpracování (geoprocessing).....	19
4 Metody hodnocení mentálních map v GIS.....	21
4.1 Úvod.....	21
4.1.1 Obecné podmínky pro hodnocení mentálních map	21
4.1.2 Příprava mentálních map k hodnocení v GIS.....	23
4.1.3 Stanovení „originálu“ a vztažného bodu	23
4.1.4 Problémy při hodnocení mentálních map v GIS.....	24
4.2 Testovací data a jejich příprava.....	24
4.2.1 Převzatá data.....	25
4.2.2 Data pořízená vlastním výzkumem.....	26
4.3 Hodnocení tvarové a polohové přesnosti (absolutní)	29
4.3.1 Společné podmínky pro možnost hodnocení přesnosti	29
4.3.2 Jednoduché metody hodnocení geometrické přesnosti.....	29
4.3.3 Metoda převedení obrysu na funkci	30
4.3.4 Metoda hodnocení polohových odchylek přes identické body	42
4.3.5 Metoda bufferu (metoda „najdi v okolí“).....	49

4.3.6	Metoda sčítání binárních rastrů	51
4.4	Hodnocení relativní přesnosti (vzájemných prostorových vazeb mezi prvky)	54
4.4.1	Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes délky a úhly.....	54
4.4.2	Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojnic.....	57
4.5	GIS pro vizualizaci výsledků jiných metod	60
4.5.1	Vizualizace pořadí zakreslených prvků	61
4.5.2	Vizualizace výběru a četností zakreslených prvků	62
5	Diskuze	65
5.1	Zhodnocení navržených metod hodnocení mentálních map	65
5.1.1	Zhodnocení metod hodnocení tvarové a polohové přesnosti.....	65
5.1.2	Zhodnocení metod hodnocení relativní přesnosti	67
5.1.3	Zhodnocení metod GIS pro vizualizaci výsledků	68
5.2	Vhodnost využití GIS pro hodnocení mentálních map.....	70
6	Závěr	72
	Seznam zdrojů informací.....	74
	Seznam příloh	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Mentální mapa „gouldovského typu“ – preference pro trvalé bydlení	12
Obr. 2	Mentální mapy „lynchovského typu“ – obrys Afriky	13
Obr. 3	Ukázka modelu krajiny	17
Obr. 4	Příklad nevhodné mentální mapy pro hodnocení v GIS	22
Obr. 5	Ukázka mentální mapy regionů světa	25
Obr. 6	Originální Afrika (vlevo) a ukázka mentální mapy (uprostřed a vpravo)	26
Obr. 7	Výřez z mentální mapy centra města Jilemnice	27
Obr. 8	Ortofoto centra města Jilemnice	27
Obr. 9	Mentální mapa cesty do zaměstnání	28
Obr. 10	Mentální mapa a originál krajských měst Česka	28
Obr. 11	Směrová růžice o 360 paprscích (vlevo) a její oříznutí dle polygonu (vpravo).....	31
Obr. 12	Ukázka nevhodného polygonu (paprsek protne linii vícekrát)	34
Obr. 13	Mentální mapa rozložená na lomové body	35
Obr. 14	Model metody převodu obrysu na funkci přes vrcholy polygonu	37
Obr. 15	Mentální mapa Afriky rozdělená na 100 bodů	39
Obr. 16	Originál a 5 mentálních map Afriky složené ze 100 bodů	41
Obr. 17	Volba identických bodů na mentální mapě centra Jilemnice	43
Obr. 18	Mřížka zkeslení mentální mapy po afinní transformaci	44
Obr. 19	Vektory odchylek na identických bodech	45
Obr. 20	Ukázka referencované mentální mapy a ortofota (výřez)	46
Obr. 21	Interpolace polohových odchylek metodami IDW, Spline a Kriging	48
Obr. 22	Výsledek metody hodnocení polohových odchylek u MM „cesta do zaměstnání“ ..	48
Obr. 23	Model „najdi v okolí“ pro metodu buffer	50
Obr. 24	Metoda bufferu	51
Obr. 25	Mentální mapa s maskou po konverzi na rastr	52
Obr. 26	Výsledek po aplikaci metody sčítání binárních rastrů	53
Obr. 27	Bodová vrstva zkoumaných objektů s přiřazeným ID	55
Obr. 28	Bodová vrstva originálu	56
Obr. 29	Vygenerovaná síť spojnic „každý s každým“ s vyznačenými průsečíky	58
Obr. 30	Průsečíky všech spojnic s ukázkou atributové tabulky	59
Obr. 31	Výsledek metody hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojnic	60
Obr. 32	Pořadí zakreslení krajských měst v mentální mapě	62
Obr. 33	Příklad znázornění četností v agregované mentální mapě	64

SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

Graf 1	Výsledný graf metody převodu obrysu na funkci s využitím směrové růžice	32
Graf 2	Agregovaná mentální mapa z 5 mentálních map (průměr) a originál.....	33
Graf 3	Grafické znázornění relativních odchylek mentálních map od originálu.....	33
Graf 4	Neupravený graf metody převedení na funkci s využitím vrcholů polygonu	36
Graf 5	Výsledný graf metody převedení na funkci s využitím vrcholů polygonu	37
Graf 6	Výsledek metody převedení na funkci s využitím rozložení na daný počet bodů	39
Tab. 1	Hodnota odchylek mentálních map od originálu pomocí Fourierových deskriptorů ..	41
Tab. 2	Výsledná atributová tabulka.....	56
Tab. 3	Ukázka tabulky chyb dle topologických pravidel	58
Tab. 4	Souhrnná tabulka metod hodnocení tvarové a polohové přesnosti	69
Tab. 5	Souhrnná tabulka metod hodnocení relativní přesnosti	70
Tab. 6	Souhrnná tabulka metod využívajících GIS pro vizualizaci	70

1 ÚVOD A CÍLE PRÁCE

1.1 Úvod

Historie mentálních map v geografickém pojetí sahá do 60. let 20. století, kdy je poprvé ve svém výzkumu použil Kevin Lynch a následně i Peter Gould. V psychologii se pojem mentální (kognitivní) mapa vyskytl ještě o více než 10 let dříve. Od této doby se pojem mentální mapa objevuje v mnoha výzkumech a studiích různých vědních oborů. Někdy jsou mentální mapy stěžejní metodou, jindy slouží jen jako doplňková metoda k potvrzení či vyvrácení konkrétní hypotézy.

Zatímco první mentální mapy byly vyhodnocovány pouze vizuálně, postupem času se začalo využívat matematických, statistických a kartografických metod. V dnešní době digitální kartografie je s neustálým rozvojem nových technologií spojena snaha o co nejvyšší zapojení těchto novinek do výzkumů. Jednou z relativně nových technologií, dosud jen málo využívanou při vyhodnocování mentálních map, je GIS (Geographic Information System).

Díky možnostem GIS se výzkum v oblasti mentálních map může posunout zase o krok dál. S pomocí GIS softwarů se hodnotiteli mentálních map otevírají nové možnosti v přístupu k jejich analýze, GIS umožňuje rychle zpracovat velké množství dat a nabízí vysoký stupeň automatizace postupů. Jelikož nástroje GIS umožňují získat informaci o vzájemné poloze prvků, jejich velikosti, sousedství, tvaru apod., nabízí se jejich velké uplatnění při porovnávání komparativních mentálních map se skutečností, tedy přesněji řečeno s modelem skutečnosti.

1.2 Cíle práce

Jak již bylo řečeno v úvodu, metody GIS jsou novým přístupem v problematice hodnocení mentálních map, především pak v hodnocení jejich přesnosti. Dosud však nebylo provedeno mnoho výzkumů, které by při analýze mentálních map aktivně využívaly nějakého GIS nástroje popřípadě celého GIS softwaru. I proto vznikla motivace ke zvolení tohoto tématu diplomové práce, která je zároveň součástí projektu s názvem "Mentální mapy: předmět a prostředek k hodnocení" podpořeného GA UK.

Cílem této práce je **vytvoření metodiky hodnocení mentálních map s využitím nástrojů GIS**. Vytvořená metodika bude spočívat v nalezení a realizaci několika různých metod hodnocení mentálních map, především lynchovského typu (viz dále), které budou implementovány do softwaru ArcGIS 9.3 od společnosti ESRI. Metody budou zaměřeny nejen na hodnocení tvarové a polohové přesnosti mentálních map, ale i na hodnocení přesnosti relativní. Zmíněny budou dále metody, kde je vhodné využít GIS pro vizualizaci výsledků. Snaha bude o co největší **univerzálnost a automatizaci postupů hodnocení**. U každé metody

budou dále diskutovány její **výhody a nevýhody**. Taktéž zde bude zmíněno, pro které druhy mentálních map je daná metoda vhodná.

Jelikož existuje velmi mnoho druhů mentálních map a zkoumáno může být bezpočetné množství jejich charakteristik od obsahové náplně až po jejich geometrickou přesnost, bude nejprve potřeba **definovat, jaké mentální mapy je vůbec možné s pomocí GIS nástrojů hodnotit**. Ze stejného důvodu však nelze stanovit univerzální postup hodnocení vhodný pro každý soubor mentálních map. Vždy je třeba vybrat hodnotící metodu s ohledem na vstupní data a na informace, které o nich chceme získat. Cílem práce je tedy **vytvoření uceleného souboru metod, ze kterého bude moci následný uživatel (hodnotitel mentálních map) vybírat a popřípadě i kombinovat jednotlivé vhodné metody** podle svých potřeb a účelu výzkumu.

Úvodní část práce se bude zabývat problematikou mentálních map na teoretické úrovni, dále zde bude stručné seznámení s technologií geografických informačních systémů a jejich možnostmi v souvislosti s analýzou mentálních map. Nejdelší a nejvýznamnější část práce bude věnována popisu a praktické ukázce konkrétních navržených metod pro vyhodnocování mentálních map v GIS, přípravě vstupních dat pro analýzu a také problémům, které mohou při vyhodnocování mentálních map nastat. V závěru práce bude provedeno vzájemné porovnání nalezených metod, diskuze nad jejich možnostmi využití a diskuze nad vhodností využití GIS v této problematice obecně.

2 MENTÁLNÍ MAPY

Tato kapitola je věnovaná teorii mentálních map, především jejich základním definicím včetně vysvětlení všech potřebných pojmů a seznámení se s literaturou týkající se daného tématu. V další části jsou popsány různé možnosti dělení mentálních map. Dále je zde prostor věnovaný procesu vytváření mentální mapy a důležitým aspektům majícím vliv na její kvalitu. Na závěr jsou diskutovány možnosti jejich využití.

2.1 Definice mentální mapy

Problematickou mentálních map se v současnosti zabývá hned několik vědních oborů. Patří mezi ně především sociologie, psychologie, behaviorální geografie a kartografie. Definice mentální mapy je proto velmi nejednotná, někdy je mentální mapa (angl. mental map) dokonce považována za synonymum s kognitivní (angl. cognitive map), percepční (angl. perceptual map) nebo myšlenkovou mapou (angl. mind map).

V české geografické a kartografické literatuře je **mentální mapa** definována jako „grafické (kartografické či schematické) vyjádření představ člověka o geografickém prostoru, nejčastěji o jeho kvalitě nebo uspořádání“ (Drbohlav, 1991, s. 164). Mentální mapa dle této definice není pouhým obrazem skutečnosti v mysli jedince, ale měla by být již vyjádřena graficky (pomocí mapy, schématu, obrázku).

Naproti tomu **kognitivní mapa** je definována jako „vnitřní (mentální) reprezentace vnější reality v mozku člověka“ (Zelenka ... [et al.], 2008, str. 12). Autorem pojmu kognitivní mapa je německý psycholog E. C. Tolman, který opakovanými pokusy s krysami v bludišti došel k zajímavému zjištění. Krysy se podle něj nechovají pouze reaktivně, ale postupně si vytvářejí na základě dříve prožitých zkušeností mapu prostředí, díky níž se dokážou v bludišti efektivněji pohybovat ve vztahu k dosaženému cíli. Tolman dále usuzuje, že patrně ještě komplikovanější myšlenkové procesy se utvářejí i v mysli člověka (Tolman, 1948). Ze dvou výše zmíněných definic vyplývá, že pojmy mentální mapa a kognitivní mapa nejsou totožné.

V zahraniční literatuře je však možné se setkat s odlišnou terminologií. Mentální mapa a kognitivní mapa jsou zde někdy považovány za synonymum a pro mentální mapy ve smyslu české terminologie (tedy grafického vyjádření) se používá termínu „**sketch maps**“ (např. Huynh ... [et al.], 2004).

Převádění prostorové kognitivní mapy v mysli člověka do grafické reprezentace se označuje jako **kognitivní (mentální) mapování**. „Základem procesu mentálního mapování je systematické (tedy ne nahodilé) zkreslování subjektivně vnímané skutečnosti“ (Pásková, 2008, str. 41). Rob Kitchin poukazuje na to, že kvalita kognitivního mapování do jisté míry závisí na kreslicích schopnostech respondenta a na jeho vztahu ke kartografii. Kitchin dále říká,

že respondent často zakreslí do mentální mapy méně informací, než ve skutečnosti zná (Kitchin, 2000).

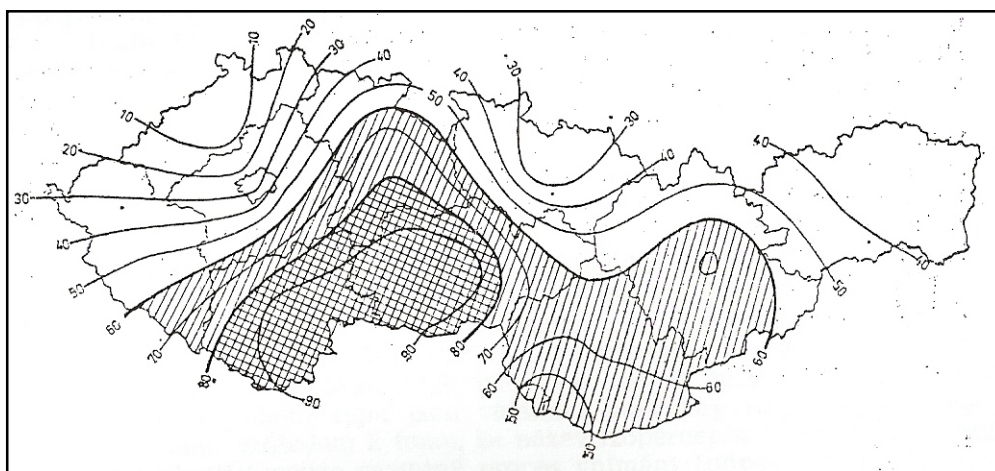
Často zmiňovaná definice mentální mapy ji označuje za proces složený ze sledu detekování, kódování, ukládání, rekonstruování a dekódování informace o relativní poloze a vlastnostech objektů v prostoru (př. Huynh ... [et al.], 2004, Gurjanovaite; Beconyte, 2007). Proto je možné mentální mapu vnímat i jako interní GIS, jelikož i zde jsou data kódována a dekódována a vždy je využita jen určitá část (vrstva) z nich (Spilková, 2002).

Mentální mapa je vždy zaměřená na jedince, představuje individuální model světa, ve kterém se jedinec pohybuje. Z toho současně vyplývá, že mentální mapa každého jedince je unikátní a jedinečná (Voženílek, 1997), ale také velmi nepřesná a deformovaná.

2.2 Rozdělení mentálních map

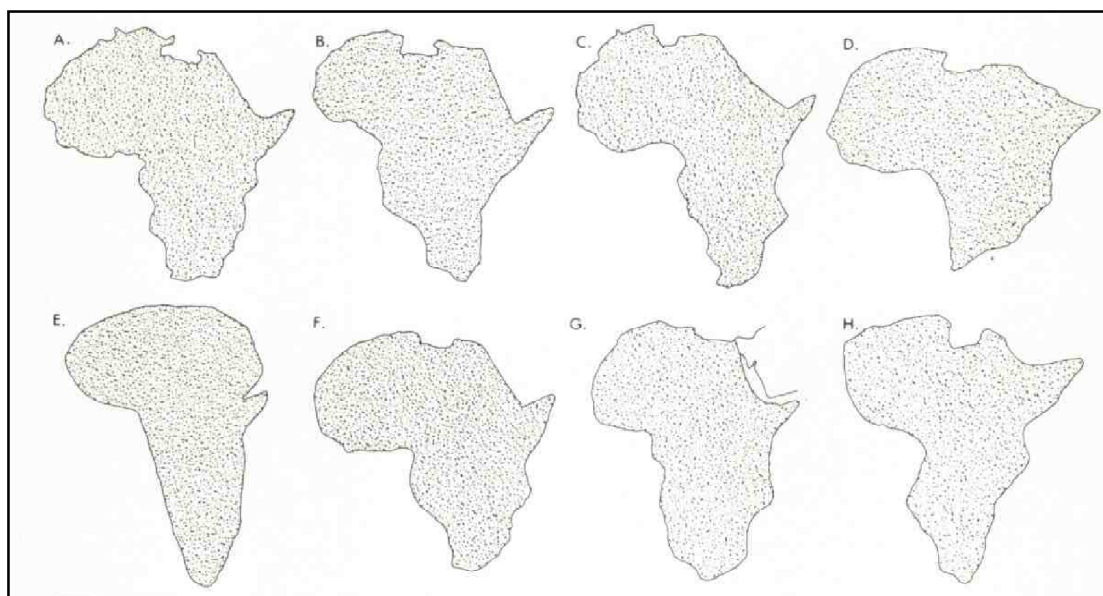
Za zakladatele teorie mentálních map bývají označováni Kevin Lynch a Peter Gould, kteří ji s využitím termínů „preference“ a „percepce“ rozpracovali ve svých dílech. Podle Lynche a Goulda jsou také pojmenovány dva rozlišné typy mentálních map, tedy tzv. „lynchovské“ a „gouldovské“ (pozn. toto rozdělení je uváděno pouze v české literatuře).

Gouldovský typ mentálních map (obr. 1) je založen na obrazu atraktivity, tedy na kladných či záporných preferencích respondenta k určitým oblastem či místům (např. preference místa pro trvalé bydlení). Vliv na rozhodování má sociální i fyzická složka prostředí. Rozdíly ve vlastnostech míst „tady“ a „tam“ byly vždy zájmem sociálních geografů, jelikož právě rozdíly mezi jednotlivými lokalitami podmiňují migraci zboží, lidí a informací (Gould; White, 1986). V tomto případě nevytváří mentální mapu sám jedinec, ale vzniká až druhotně na základě zaznamenání slovních informací do mapy. Výsledkem vyhodnocení může být kartogram, anamorfóza, mapa s izoliniemi apod. (Drbohlav, 1993). Gouldovské mentální mapy použili ve svých dílech např. Gould; White (1986), Voženílek (1997) či Drbohlav (1991).



Obr. 1 Mentální mapa „gouldovského typu“ – preference pro trvalé bydlení
Zdroj: Drbohlav (1991)

Lynchovský typ mentálních map (obr. 2) zobrazuje prostor tak, jak ho jedinec vnímá, tedy jeho velikost, tvar, prostorovou orientaci, rozmístění objektů a významných bodů, topologii apod. Výsledkem je pak konkrétní náčrtek, schéma nebo obrázek. Podrobnější rozdělení mentálních map lynchovského typu podle jejich obsahu je v kapitole 4.1.1. Kevin Lynch ve své knize *The Image of the City* využil mentální mapy (sketch maps) dotazovaných jedinců k vytvoření obrazu (image) města, který ukazuje, jak dané město vnímají jeho občané, ale i náhodní turisté. Definoval hlavní prvky image města, a to cesty (dráhy), okraje (hranice), oblasti (části města), uzly (strategická místa ve městě) a významné orientační body (např. věž). Zabýval se jak významem těchto prvků, tak vztahy mezi nimi (Lynch, 2004). Celý výzkum velmi přispěl k vývoji urbanismu a plánování měst.



Obr. 2 Mentální mapy „lynchovského typu“ – obrys Afriky

Zdroj: Sanders, R. A., Porter, P. W. (1974)

Lynchovský typ mentálních map má většinou podobu komparativních map (viz níže), proto se k jejich vyhodnocování často používá srovnání se skutečností (ideálem), např. Sanders; Porter (1974), Waterman; Gordon (1984), Siwek; Kaňok (2000), Peake; Moore (2004), Kynčlová; Hudeček; Bláha (2009). A právě navržení vhodných a užitečných metod pro porovnávání mentálních map se skutečností s využitím geografických informačních systémů je důležitou kapitolou této práce.

Jiný způsob dělení mentálních map je podle Drbohlava (1991) možný na základě způsobu získávání informací od respondenta. Jednou skupinou jsou tzv. „**revealed preferences**“, kdy respondentovi nejsou předkládány žádné alternativy odpovědí, ale jeho preference jsou získány na základě jeho nezávislého posouzení situace. Hodnotí se většinou jen kladné a záporné extrémy (ano × ne, pravda × nepravda). Naopak tzv. „**stated preferences**“ jsou získávány z komparativního hodnocení, kdy respondent porovnává kvalitu určitého jevu ve zkoumané jednotce ve vztahu k jiným územním jednotkám.

Rozlišujeme také mentální mapy „komparativní“ a „nekomparativní“. **Komparativní** mapy je možné srovnávat se skutečností, můžeme hodnotit jejich správnost, tedy shodnost či naopak rozdílnost s reálným prostředím. Komparativní je většina mentálních map lynchovského typu. Naopak **nekomparativní** mapy jsou takové, které se se skutečností porovnávat nedají, jelikož neexistuje žádná charakteristika kvantifikující danou problematiku (Siwek; Kaňok, 2000).

Podle Páskové (2008) je možné mentální mapy rozdělit na základě obsahu zadání, které dostali dotazovaní jedinci k dispozici. Za „**nestrukturované**“ mentální mapy jsou považovány ty, kdy není předem definováno, co má být na mentální mapě zobrazeno. Jedinou informací pro dotazovaného je vymezení geografického rozsahu mapy. Tento typ mentálních map umožňuje zkoumat individuální zvláštnosti ve vnímání i v pojetí mentální mapy. Nevýhodou je však obtížné vzájemné porovnávání a vyhodnocování těchto map, jelikož každá může mít zcela jiný obsah. Při tvorbě „**strukturované**“ mentální mapy je respondent kromě geografického rozsahu mapy instruován též o objektech, které a jakým způsobem mají být v mapě zakresleny, popřípadě dostane další informace k vykreslení mentální mapy. Ačkoli se tímto přístupem částečně potlačuje individualita jedince, je možné výsledné mapy mezi sebou lépe porovnávat.

2.3 Tvorba mentální mapy

Každý člověk si neustále ve své mysli podvědomě vytváří různé kognitivní (mentální) mapy. Jde o individuální model světa, vytvořený na základě našich zkušeností a vnímání okolí. Proces vytváření mentální mapy se dle Siwek; Kaňok (2000) dá přirovnat k procesu myšlení při kartografické generalizaci:

- 1) Analýza všech známých informačních vrstev (percepce, pozorování)
- 2) Výběr potřebných informačních vrstev (preferenze, selekce)
- 3) Z vybraných vrstev vytvoření nové informace (imaginace)

Voženílek (1997) vymezuje čtyři faktory ovlivňující tvorbu mentální mapy – vzdělávací instituce, sdělovací prostředky, osobní zkušenosti a názory okolí. Z toho vyplývá, že mentální mapy jedince se vyvíjejí a mění společně s jeho věkem a novými interakcemi s okolím. Jsou odrazem individuálních znalostí, vnímání a interpretace geografického prostoru (Gurjanovaite; Beconyte, 2007). Je nutné si uvědomit, že kromě informací získaných během studia a zpráv z důvěryhodných sdělovacích prostředků, působí v převážné části života na jedince zdroje s nevěrohodnými, nekvalifikovanými či starými informacemi. Po ukončení školní docházky se podle Voženílka (1997) mentální mapa aktualizuje již jen velmi pomalu.

2.4 Hodnocení mentálních map

Analýza a hodnocení mentálních map jsou nejdůležitější etapou kognitivního zkoumání. Velmi často jsou mentální mapy, především nekomparativní, hodnoceny pouze vizuálně (co je na nich zobrazeno, jakým způsobem, jakými vyjadřovacími prostředky (př. Zelenka, 2008).

U komparativních mentálních map se využívá možnosti jejich porovnání se skutečností. Hodnotí se polohová, tvarová a obsahová přesnost zakreslených informací, popřípadě i prostorové a významové vazby mezi nimi (př. Sanders; Porter, 1974, Waterman; Gordon, 1984).

Jiným pohledem na hodnocení mentálních map je seskupení jednotlivých mentálních map respondentů do jedné agregované mentální mapy, která představuje komplexní pohled na situaci za celou skupinu dotazovaných (př. Kynčlová, 2008). Kitchin (2000) vymezuje 2 druhy agregace: „kolektivní“ a „individuální“. Zatímco u **kolektivní agregace** se seskupují dosud nevyhodnocené mentální mapy a vytváří se z nich průměrovaná mentální mapa za určitou skupinu respondentů, u **individuální agregace** se nejprve provede vyhodnocení každé mentální mapy zvlášť a průměrují se až jejich výsledky. Výhodou individuální agregace je možnost navrácení se zpět k individuálním výsledkům.

U každého vyhodnocování mentálních map je třeba brát v potaz, za jakých podmínek byla mentální mapa vytvářena:

- jak přesně bylo definováno zadání (obecně platí, čím více dostane respondent instrukci, tím více bude ovlivněna jeho výsledná mentální mapa)
- jakým způsobem bylo zadání podáno (slovně, písemně, celé najednou, postupně atd.)
- jakým způsobem byla tvořena mentální mapa (tužka a papír, počítačová myš a monitor)
- zdali byl respondent při kreslení mentální mapy vystaven nějakému tlaku či omezení (např. měření času, velikost papíru)
- zda mohl respondent svou mentální mapu doprovodit popisem či slovní informací apod.

Všechny tyto a další faktory mohou mít značný vliv na výslednou kvalitu mentální mapy.

2.5 Možnosti využití mentálních map

Mentální mapy mohou sloužit k řešení obecných prostorových problémů. Díky výzkumům zabývajících se preferencí či nepreferencí lidí k určitým místům (např. místo pro trvalé bydlení, pro pracovní příležitosti, stav životního prostředí) získávají urbanisté a sociální geografové cenné informace, díky nimž mohou předvídat budoucí, či naopak objasňovat již uskutečněné, směry migrace. Podobné je to v oblasti cestovního ruchu, kde je na základě výzkumů možné předpokládat zvýšenou poptávku po atraktivních destinacích na dovolenou apod.

Jak ukázal Lynch (1960), mentální mapy jsou také důležitou pomůckou pro architekty a územní plánovače měst. Díky poznatkům, jak občané vnímají určitá prostředí a jak na ně reagují, lze dosáhnout lepší provázanosti mezi navrhovateli územních plánů a samotnými občany. S tím souvisí také využití mentálního mapování pro designování a přizpůsobování prostředí pro populaci s určitým handicapem (vozičkáři, nevidomí), dále v boji s kriminalitou či při hledání pohřešovaných osob (Spilková, 2002).

Bláha (2010) se ve své studii pokusil začlenit mentální mapování do metod zjišťování kulturních aspektů kartografické tvorby.

Mentální mapa slouží také k efektivnímu popsání určité trasy cizinci, umožňuje nám lépe zvládat situace, kdy tušíme správnou cestu, ale nejsme si jí úplně jisti. Mentální mapa je také mnemotechnickou pomůckou, pokud si chceme zapamatovat nějaké události, věci nebo lidi, pomůže nám přiřadit si je k určitému místu (např. zasedací pořádek). Mentální mapy jsou dobrými prostředky pro strukturování a ukládání znalostí (Tuan, 1975).

3 GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY (GIS)

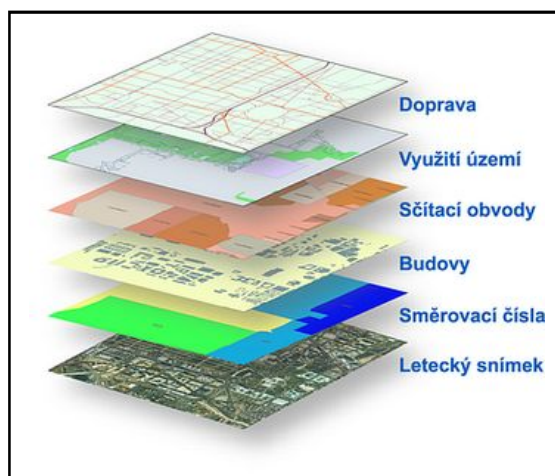
V této kapitole jsou popsány základní principy geografických informačních systémů, jejich nástroje a možnosti využití vzhledem k výzkumu v oblasti mentálních map. Následuje kapitola věnovaná seznámení se se softwarem ArcGIS, ve kterém byla provedena aplikační část této práce.

3.1 Definice GIS

Většina objektů a jevů je nějakým způsobem svázaná s geografickou polohou, proto se nazývají **prostorová data**. Nemusí se vždy jednat pouze o povrch Země, ale třeba o povrch vesmírných těles nebo o prostor zcela smyšlený. Objekty se v prostoru vyskytují společně s mnoha dalšími objekty, se kterými se vzájemně překrývají a ovlivňují. Každý objekt má také své specifické vlastnosti (atributy). A právě pro práci s těmito prostorovými daty se používají **geografické informační systémy** (zkráceně GIS).

Klimešová (2000) definuje GIS takto: „Geografický informační systém je organizovaný souhrn počítačové techniky, programového vybavení, geografických dat a zaměstnanců navržený tak, aby mohl efektivně získávat, ukládat, aktualizovat, analyzovat, přenášet a zobrazovat všechny druhy geograficky vztažených informací." Z definice plyne, že pod pojmem GIS se neskrývá pouze nějaký software, ale jedná se o celý funkční systém obsahující i další složky jako jsou data, hardware, personál a možnosti využití.

Hlavní výhodou GIS je, že dokáže řešit problémy, kde jsou kombinovány dotazy na vlastnosti objektů s dotazy na jejich polohu a jejich vztah k jiným objektům (Štych, 2008).



Obr. 3 Ukázka modelu krajiny
Zdroj: www.arcdata.cz

Reálný svět je velmi složitý a časově proměnlivý systém, proto je nutné pro potřeby GIS provést jeho určité zjednodušení. Tento zjednodušený model se nazývá **model krajiny**. Bravený; Štych (2008) ho definují takto: „Model krajiny popisuje skutečný svět, veškeré věci a dění, pomocí zvolených vlastností (atributů) vybraných krajinných prvků a vztahů mezi těmito krajinnými prvky“. Prvek i vztah mohou být popsány libovolným počtem vlastností. Atribut pak vyjadřuje hodnotu této vlastnosti. Krajinné prvky se v modelu mohou na základě společných vlastností seskupovat do skupin, které se označují jako **třídy** prvků. Ukázka modelu krajiny se zobrazenými vrstvami je na obr. 3.

3.2 Možnosti využití GIS

Jak již bylo zmíněno, GIS pracuje s prostorovými daty, a to jak s polohovými (informace o poloze objektu), tak s daty atributovými (informace o vlastnostech prvku a vztazích s ostatními prvky).

- GIS dokáže pracovat s velkým množstvím dat najednou
- GIS umožňuje modelaci situací a stavů, které se staly v historii, nebo naopak mohou nastat v budoucnu - např. rozsah zatopeného území při povodních
- GIS je schopen vytipovat lokality hrozcích (přírodních) katastrof – např. předpokládaná místa pádu laviny, sesuvu půdy apod.
- GIS dokáže opakovaně provádět stejnou operaci nad různými daty
- GIS umožňuje automatizované hodnocení
- GIS nabízí vytvoření vlastních nástrojů složením předdefinovaných nástrojů (Model Builder)
- GIS umožňuje přehledné zobrazení (vizualizaci) výsledků formou přehledné mapy, grafu, kartogramu (ne jen tabulky)

GIS má díky svým vlastnostem široké využití. Nejčastěji se pomocí GIS vytváří nejrůznější informační systémy (městské, katastrální, životního prostředí, ...), dále slouží pro evidenci majetku, sledování pohybu vozidel, tvorbu lesnických plánů, správu technických sítí. Důležitou roli hraje též v oblasti ekologie, urbanismu či integrovaného záchranného systému a v neposlední řadě také při tvorbě geografických a tematických map.

3.3 Software ArcGIS

3.3.1 Představení software ArcGIS

ArcGIS je produktem kalifornské společnosti ESRI. První geografický informační systém s názvem ArcInfo byl uveden na trh v roce 1981, o necelých 10 let později se prodalo již přes 300 000 instalací desktop produktu ArcView GIS. Aktuální vývojovou verzí tohoto softwaru je ArcGIS 10 (Arcdata, 2010).

Software ArcGIS má 3 licenční úrovně: ArcView, ArcEditor a ArcInfo. Ve všech úrovních je možné pracovat ve dvou základních aplikacích: **ArcCatalog** pro správu a editaci dat, **ArcMap** pro vizualizaci dat a prostorové analýzy. Dílčí aplikací je **ArcToolbox**, kde jsou

uložené přednastavené funkce a nástroje pro možnosti analytického zpracování dat (Bravený; Štych, 2008).

3.3.2 Nástroje pro analytické zpracování (geoprocessing)

Geografické informační systémy disponují řadou nástrojů pro práci s prostorovými daty. Kromě nástrojů pro pořizování, uchovávání, editaci, vizualizaci či kartografické zpracování prostorových dat je to především rozsáhlá sbírka nástrojů pro jejich analytické zpracování (**geoprocessing**).

Většina nástrojů pro geoprocessing je v softwaru ArcGIS uložena v aplikaci ArcToolbox, některé jsou v panelu Editor. Avšak ArcToolbox není jediným prostředkem pro užívání nástrojů. Využit se dá také příkazový řádek, skript nebo model vytvořený v Model Builderu (Grill, 2008).

1) ArcToolbox

V ArcToolboxu jsou uloženy základní geoprocessingové nástroje pro analýzu a modelování. Nástroje (Tools) jsou pro lepší orientaci hierarchicky uspořádány do tematicky a funkčně si odpovídajících skupin (tzv. Toolbox, resp. Toolset). Do ArcToolboxu je možné přistupovat jak z prostředí ArcMap, tak z ArcCatalogu přes příslušnou ikonu v panelu nástrojů.

Po zvolení libovolné funkce se otevře dialogové okno, ve kterém se nastavují všechny potřebné a doplňující parametry, a samozřejmě také vstupní data a místo pro uložení výsledků. Uživatel si může kromě přednastavených Toolboxů (množin nástrojů) vytvořit i vlastní Toolbox, do kterého může vložit libovolné nástroje.

2) Model Builder

Model Builder, jak už sám název napovídá, slouží k vytváření modelů a tím k jisté automatizaci zpracování dat. V tomto případě se jedná o posloupnost jednotlivých úkonů (nástrojů), které mají být na data aplikovány. Výhodou je, že se proces zpracování dat provede celý najednou, a navíc je možné ho použít opakovaně (tedy stejný proces nad různými daty).

Model je v Model Builderu vytvářen spojováním jednotlivých nástrojů nebo již existujících modelů či skriptů za sebe, přičemž výstup z jednoho procesu je zároveň vstupem procesu následujícího. Vytváření modelu velmi usnadňuje grafický návrh modelu, kde jsou barevně i tvarově odlišeny nástroje od proměnných a zároveň je zde identifikátor funkčnosti modelu. Při tvorbě modelu je možné určit, které parametry budou proměnné (tedy zadávány uživatelem), dále je zde možnost vytvoření iterativního opakování procesu (nebo jeho části) až do splnění definované podmínky a eventuálně také přiřazení doprovodného popisu k modelu. Spouštění modelu je stejné jako spouštění ostatních nástrojů, tedy přímo z ArcToolboxu nebo z příkazového řádku. Model vytvořený v Model Builderu byl využit pro automatizaci postupu některých metod v této práci.

3) Příkazový řádek

Každý nástroj obsažený v ArcToolboxu lze volat také pomocí příkazového řádku. Důležité je vždy dodržet správnou syntaxi příkazu. Grill (2008) poukazuje na výhody, které má volání funkce přes příkazový řádek oproti „klasickému“ přístupu z Toolboxu:

- *vícenásobné vyvolání již použitých příkazů (historie příkazové řádky),*
- *sdužování více příkazů do jednoho bloku pro jednorázové vykonání,*
- *uložení příkazu či skupiny příkazů do textového souboru,*
- *vytváření a používání proměnných v příkazové řádce.*

Díky těmto výhodám, které použití příkazového řádku nabízí, může být práce v ArcGIS pro mnohé uživatele ještě efektivnější. Vytvoření skriptu pro příkazový řádek je kromě modelů další formou automatizace metod v této práci.

4) Skripty pro ArcGIS

V případech, kdy uživateli nestačí standardní nástroje, umožňuje ArcGIS vytvoření programovacích nástrojů pomocí skriptů. Skripty je možné psát téměř v libovolném programovacím jazyce, který podporuje objektovou technologii a práci s COM objekty (např. Python). Skript je možné napsat buď celý v editoru či grafickém rozhraní pro psaní kódu, nebo je možné si jeho základ vygenerovat z modelu vytvořeného v Model Builderu (Grill, 2008).

4 METODY HODNOCENÍ MENTÁLNÍCH MAP V GIS

4.1 Úvod

Tato kapitola se bude zabývat metodami hodnocení mentálních map, především lynchovského typu. Po obecných informacích týkajících se základních podmínek, které je nutné dodržovat při hodnocení mentálních map, přípravě hodnocených děl pro analýzu a problémech, které mohou při hodnocení nastat, je velká část kapitoly věnována popisu jednotlivých metod hodnocení.

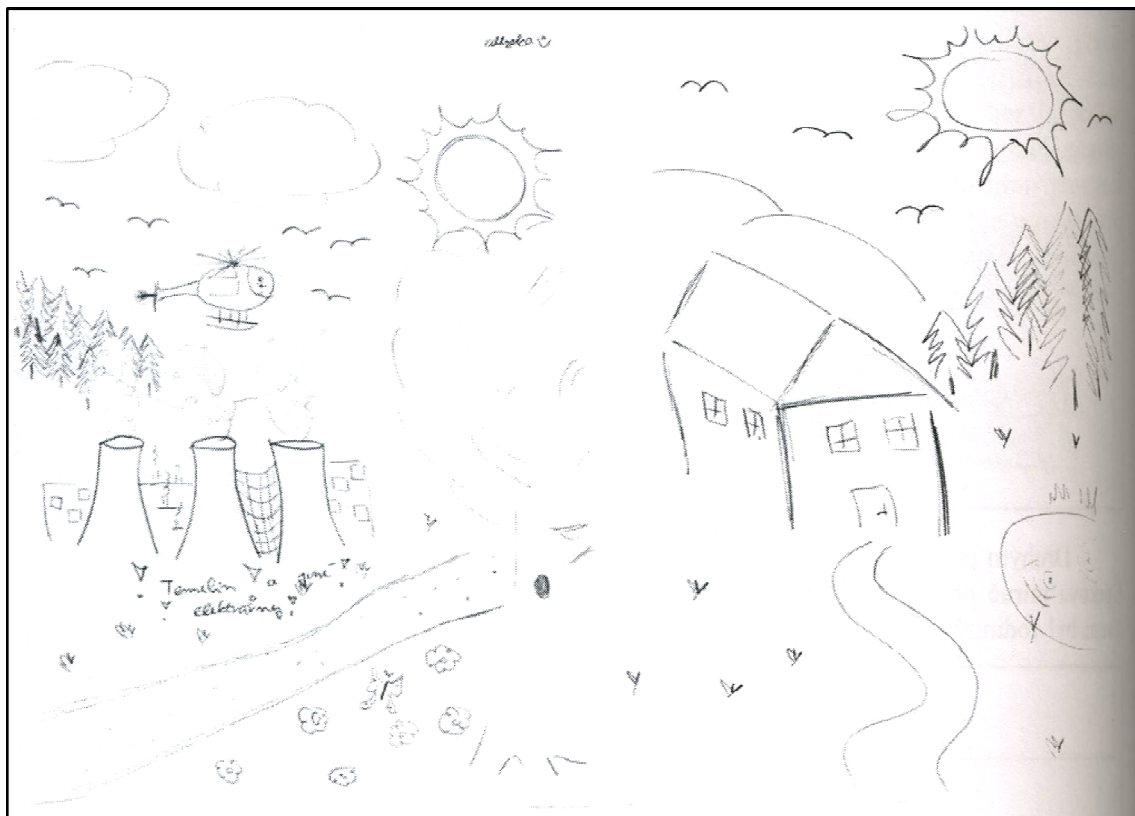
Navrhované metody jsou rozděleny do tří skupin. První a nejpočetnější skupinu tvoří metody zabývající se hodnocením tvarové a polohové přesnosti mentálních map v GIS. Druhou skupinou jsou metody, které zkoumají vzájemnou polohu zakreslených prvků v mapě (relativní přesnost). Do poslední skupiny byly zařazeny metody, které využívají možností GIS pouze pro vizualizaci konečných výsledků jiných metod.

U každé metody je nejprve vysvětlen její princip a pro které typy mentálních map je nejvíce vhodná. Následuje stručný popis metody včetně vysvětlení jednotlivých kroků jejího postupu, obohacený o grafické ukázky. Na závěr je u každé metody krátké zhodnocení jejích výhod a nevýhod. Dále je zde poukázáno na problémy, které mohou nastat při aplikaci metody.

4.1.1 Obecné podmínky pro hodnocení mentálních map

Než začneme hodnotit mentální mapy, je nejprve nutné si uvědomit, čeho chceme při hodnocení dosáhnout, jaký výsledek pro nás bude dostačující. Až na základě **uvědomění si cíle** je možné zvolit vhodnou metodu, popř. soubor metod pro hodnocení. Jak bylo již zmíněno v kapitole 2.4, velký vliv na výslednou kvalitu mentálních map má již samotné **zadání úkolu**. Proto je nutné vždy zjistit, za jakých podmínek mentální mapy vznikaly, popř. provádíme-li výzkum sami, dobře si rozmyslet, jak bude zadání přesně definováno.

Mentální mapa může být vyjádřena mnoha způsoby. Může se jednat např. o jednoduché schéma, mapu nebo obrázek. Pokud má však být při hodnocení mentálních map využito nástrojů GIS, je nutné možnou podobu mentální mapy více specifikovat. Příkladem nevhodné mentální mapy pro analýzu v GIS jsou např. mentální mapy z výzkumu na UHK (viz. Zelenka, 2008), kdy měly děti za úkol nakreslit „svět, kde žiji“ a „svět, kde bych chtěl žít“ (viz obr. 4). Tento typ mentální mapy je možné hodnotit pouze vizuálně, a to z hlediska obsahu. GIS software může být v tomto případě využit pouze jako prostředek pro zobrazení výsledků po převedení obsahu kreseb na kvantitativní údaje.



Obr. 4 Příklad nevhodné mentální mapy pro hodnocení v GIS

Svět, kde žiji (vlevo) a svět, kde chci žít (vpravo).

Zdroj: Zelenka (2008, str. 144)

Ideálním vstupem pro hodnocení v GIS je taková mentální mapa, která **bude svým charakterem připomínat skutečnou mapu**. Tzn., bude se jednat o 2D nákres určitého území či jevu vymezeného v geografickém prostoru.

Pro navrhování funkčních metod hodnocení mentálních map lynchovského typu je dále nutné mít představu o tom, jaké typy mentálních map mohou být vstupem. Proto byly s využitím dosavadních výzkumů využívajících mentálních map a amerických Standardů geografického vzdělávání (Downs ... [et al.], 2009), kde je mentálním mapám věnován jeden z osmnácti standardů, vyčleněny tyto **čtyři druhy lynchovských mentálních map**:

- 1) *Plán* – mentální mapa určitého geograficky vymezeného prostoru (mentální mapa města nebo jeho části, mapa významné geografické oblasti, mapa parku, hřiště, pokoje apod.)
- 2) *Obrys oblasti (polygon)* – nakreslení obrysové mapy světa nebo jednotlivých regionů, států apod.
- 3) *Trasa mezi dvěma body* – nakreslení cesty z místa na místo (do zaměstnání, do školy), nakreslení mentální mapy prostoru mezi dvěma body (př. Paříž – Moskva, Praha – Brno) apod.
- 4) *Prvky zakreslené uvnitř definované oblasti* – zakreslení hospodářsky, kulturně, či jinak, významných center nebo oblastí do předložené mapy, zakreslení základní říční, dálniční, železniční sítě apod.

Samozřejmě, že tento výčet druhů mentálních map nebude úplný, mentální mapy jsou velmi variabilní a jen těžko se dají vždy přesně zařadit. Výše definované druhy mentálních map jsou však východiskem pro navrhování metod jejich hodnocení v této práci.

4.1.2 Příprava mentálních map k hodnocení v GIS

Mentální mapy vstupující do GIS analýzy musí být v **digitální podobě**. Pokud respondenti kreslili mentální mapu pouze na papír (nikoli v digitálním prostředí), je nutné mentální mapy převést do digitální podoby, nejlépe jejich skenováním. Pro naprostou většinu metod hodnocení je navíc požadován vstup ve **vektorovém formátu**, tudíž je třeba provést ještě (někdy alespoň částečnou) vektorizaci mentálních map. Při velkém počtu mentálních map tak může být jejich příprava k analýze velmi zdlouhavá.

Výhodné proto může být požádat respondenty o nakreslení jejich mentální mapy přímo do digitálního prostředí pomocí počítačové myši (nebo dotykového displeje) a grafického programu. Odpadne tak nutnost skenování, kterým se někdy zhorší čitelnost mapy, a pokud zvolený software podporuje i vektorové formáty, nemusí se provádět ani zdlouhavá vektorizace. Problematicke kreslení mentálních map přímo do digitální podoby, navíc se zachycením verbálních projevů respondenta, se ve svém článku věnuje např. Huynh ... [et al.] (2004).

Ze zadání úkolu respondentům by měla být dále zřejmá společná charakteristika mentálních map, tedy např. co mentální mapy představují, zda jsou v nějakém zobrazení, měřítku, jak jsou orientovány apod.

4.1.3 Stanovení „originálu“ a vztažného bodu

Pro porovnávání komparativních mentálních map se skutečností je potřeba mít stanovený určitý **„originál“**, **ideální výsledek**, jak by měla mentální mapa v nejlepším případě vypadat. Jedná se tedy o zjednodušený model skutečnosti. Právě s tímto originálem pak budou všechny mentální mapy porovnávány. Jeho rozsah a zdroj závisí na daném výzkumu, v závislosti na zvolené hodnotící metodě může existovat i více originálů pro jeden soubor mentálních map. Důležité je, aby zkreslení originálu bylo vždy v porovnání s předpokládanou přesností mentálních map zanedbatelné. Volbě originálu je tedy nutné věnovat velkou pozornost, jelikož je na něm kvalita celkového hodnocení mentálních map velmi závislá!

Stejnou pozornost je třeba věnovat stanovení **vztažného bodu**. Vztažný bod je takový bod, který budeme považovat u mentální mapy a originálu (popř. u všech mentálních map) za identický a tedy za správně umístěný. Může se jednat např. o těžiště obrysové mentální mapy, místo, odkud začne respondent zakreslovat svou mentální mapu města apod. Vztažný bod může být i předdefinovaný v předloze, do které bude respondent mentální mapu zakreslovat. V tomto případě se může jednat i o vztažný polygon či linii. Pomocí vztažného bodu je možné mentální mapy a originál polohově ztotožnit, avšak toto stále neřeší problém jejich rozdílného měřítka či orientace (viz níže). Jak ukazuje studie autorů Sanders; Porter (1974), volba vztažného bodu může mít značný vliv na výsledky hodnocení.

4.1.4 Problémy při hodnocení mentálních map v GIS

Pokud chceme porovnat soubor mentálních map v GIS, je nutné, abychom je byli schopni správně **umístit do jednoho společného prostoru** s originálem. Pokud se nejedná o mentální mapy, kde byla respondentům předložena šablona vymezující nějakou geografickou oblast, díky níž by bylo mentální mapy možné polohově ztotožnit, je umístění do společného prostoru velmi obtížné. Důvodem je především rozdílné měřítko, orientace a interpretovatelnost obsahu mentálních map.

Měřítko

Mentální mapy se od běžných kartografických map liší tím, že nemají pevně stanovené měřítko. Měřítko mentální mapy může být navíc i v rámci jedné mapy velmi proměnlivé. Proto je srovnání mentální mapy s originálem (nebo jinou mentální mapou) velmi obtížné. Často je k dispozici jen málo společných bodů nebo linií pro možnost porovnávání.

Problémem neznámého a především proměnného měřítka se zabývalo již několik výzkumníků v oblasti mentálních map. Sanders; Porter (1974) ve své studii řešili tento problém roztahováním či naopak zmenšováním mentálních map tak, aby se svou plochou co nejvíce přiblížily originálu. Toto řešení je však možné pouze pro obrysové mentální mapy s jasně zřetelnou hranicí. Dalším přístupem je transformace mentální mapy na originál pomocí identických bodů (Peake; Moore, 2004, Waterman; Gordon, 1984, Tobler, 1974). Pokud však bude provedena jiná než podobnostní transformace, dojde k nežádoucí deformaci původní mentální mapy.

Orientace

Druhým problémem při hodnocení mentálních map je jejich orientace. Pokud chceme porovnat soubor map, je třeba, aby byly mapy stejně orientované. Problém orientace mentální mapy je možné podchytit již při zadávání úkolu respondentům, kdy je možné stanovit, jak má být mentální mapa orientována (např. Sanders; Porter, 1974), avšak ani zde není jistota, že respondenti zakreslí svou mentální mapu správně.

Interpretovatelnost obsahu

Mentální mapa vyjadřuje osobní představy jedince, které se nemusí shodovat s představami jiných osob. Může se proto stát, že mentální mapa bude pro jedince, kteří nejsou jejími autory, jen těžko srozumitelná. Často je mentální mapa špatně interpretovatelná, pokud její autor neporozuměl zadání nebo pokud si požadovanou mentální mapu nedokázal vytvořit. Např. Kynčlová (2008) ve své práci zmiňuje problém s identifikací prvků na mentálních mapách některých jedinců, především dětí.

4.2 Testovací data a jejich příprava

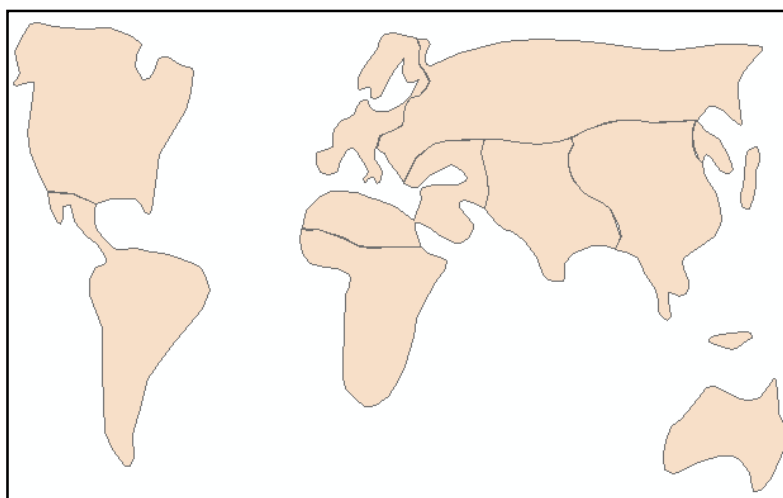
Všechny níže popsané metody musely být vymyšleny a prakticky testovány nad konkrétními daty. Bylo třeba získat data představující jednotlivé druhy mentálních map, tedy plán, obrys oblasti, trasa mezi dvěma body a prvky zakreslené uvnitř definované oblasti (viz kapitola 4.1.1).

Zároveň k nim bylo nutné stanovit příslušné originály (ideální výsledky), se kterými budou mentální mapy porovnávány.

Testovací data v této práci slouží pouze pro ověření funkčnosti představovaných metod hodnocení, nikoli však jako vstup pro jejich komplexní analýzu. Z tohoto důvodu mohl být za testovací vzorek zvolen jen velmi malý (nereprezentativní) počet mentálních map. Interpretace výsledků je proto vždy pouze naznačena, avšak nejsou z ní již vyvozovány žádné závěry.

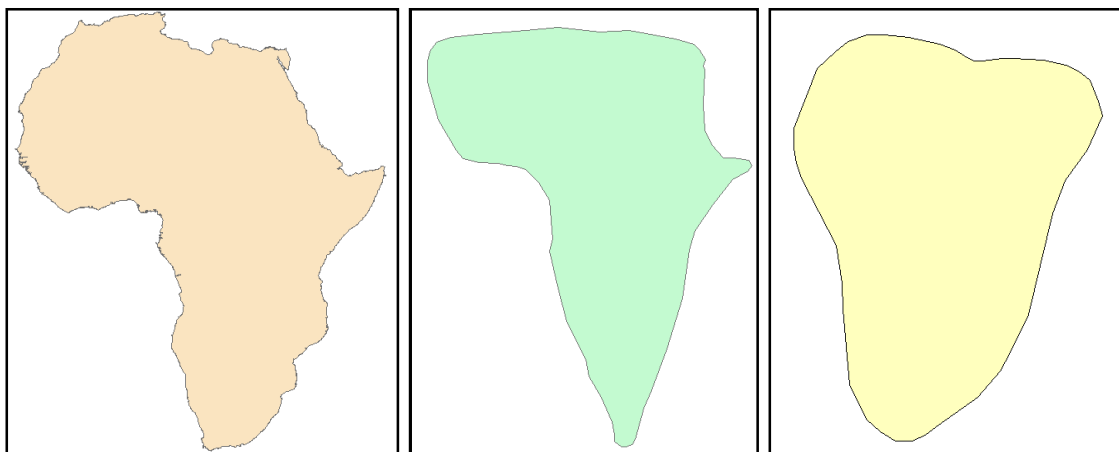
4.2.1 Převzatá data

V této práci nejde o zpracování komplexního výzkumu za účelem získání konkrétní informace. Proto zde byla prvotní snaha o získání vhodných digitalizovaných mentálních map z jiného již dříve uskutečněného výzkumu. Nakonec jedinými převzatými daty byly mentální mapy regionů světa, pocházející z výzkumu prováděného na katedře sociální geografie a regionálního rozvoje UK v Praze. Jedná se o soubor 107 mentálních map v Robinsonově zobrazení představujících ručně nakreslenou mapu světa, ve které jsou vyznačeny hranice regionů, kde je daný jedinec vnímá (ukázka viz obr. 5). Velkou výhodou těchto dat je, že jsou již ve vektorové podobě (každá mentální mapa jako samostatný soubor *.shp), tudíž odpadá nutnost zdlouhavé vektorizace.



Obr. 5 Ukázka mentální mapy regionů světa
Zdroj: anonymní respondent

Pro účely této práce byla především kvůli velkému objemu dat vybrána jen jejich část a to konkrétně mentální mapy regionu Afrika. Počet vstupních polygonů byl dále omezen požadavkem, aby Afrika představovala samostatný region a nebyla spojena např. s Arabským poloostrovem, což by zavádělo chyby do hodnocení. Tento výběr musel být vzhledem k charakteru dat proveden ručně. Výsledkem bylo 22 mentálních map regionu Afrika (ukázky viz obr. 6 uprostřed a vpravo).



Obr. 6 Originální Afrika (vlevo) a ukázka mentální mapy (uprostřed a vpravo)

Zdroj: vlevo ESRI Data & Maps (2006), uprostřed a vpravo anonymní respondent

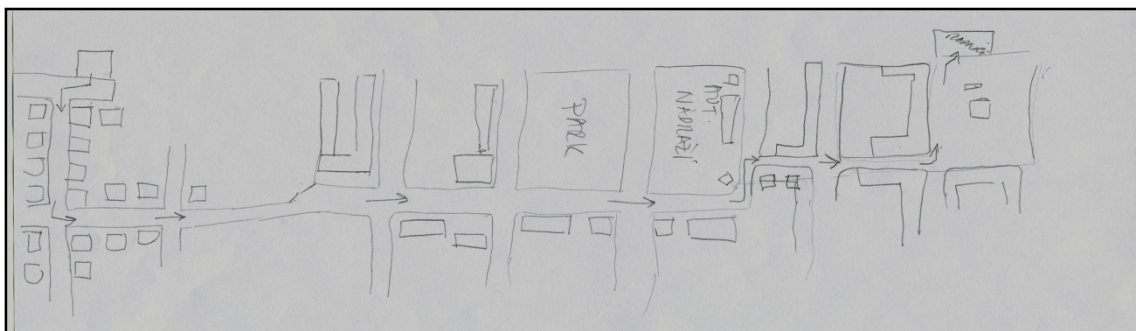
Za „originální Afriku“, ke které bude hodnocení přesnosti vztaženo, byl zvolen shapefile Afriky z knihovny ESRI (ESRI Data & Maps, 2004). Originální Afrika byla v souřadnicovém systému WGS-84, proto ji bylo nejprve nutné funkcí *Project* transformovat do Robinsonova zobrazení, ve kterém jsou i pořízené mentální mapy. Dále bylo třeba odstranit z originálu všechny ostrovy, aby zůstal jen samotný kontinent (1 polygon). Toho bylo docíleno funkcí *Erase* podle ručně vytvořené masky překrývající všechny ostrovy. Výsledná „originální Afrika“ je na obr. 6 vlevo.

4.2.2 Data pořízená vlastním výzkumem

Ostatní testovací data (mentální mapy) bylo nutné získat pomocí vlastního výzkumu. Ten proběhl v prosinci 2009 v Jilemnici a v lednu 2010 v Hradci Králové a v Praze. Celkem se ho zúčastnilo 9 respondentů (všichni však nevytvářeli všechny mentální mapy). Snahou bylo stanovit zadání tak, aby bylo co nejjobecnější a vzniklé mentální mapy tak mohly sloužit jako vstupní data pro co nejvíce hodnotících metod.

První byly získány mentální mapy představující plán centra města Jilemnice. Tři respondenti, kteří splňovali podmínku trvalého pobytu v Jilemnici, byli požádáni, aby na předložený papír formátu A4 zakreslili centrum města Jilemnice a nezapomněli v něm zaznačit všechny důležité prvky. Dále jim bylo kladně odpovězeno na dotaz, zda mohou mentální mapy doprovodit popisem objektů. Ukázka výsledné mentální mapy (její výřez) je na obr. 7.

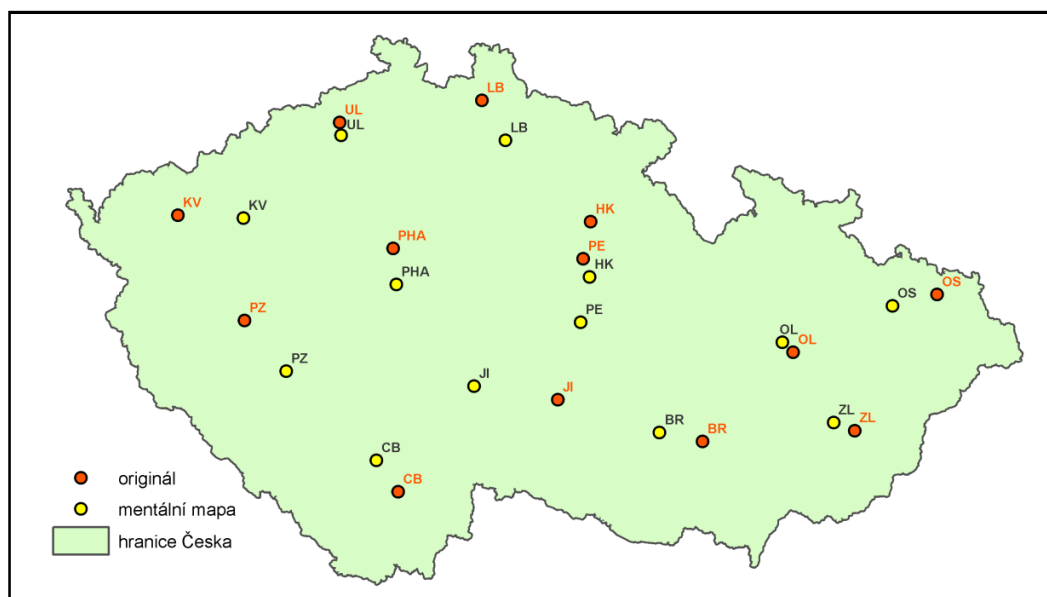
Trasu mezi dvěma body představuje mentální mapa respondenta, který zakreslil svou cestu z místa bydliště do zaměstnání (obr. 9). Originálem k této mentální mapě bylo opět zvoleno ortofoto daného území.



Obr. 9 *Mentální mapa cesty do zaměstnání*

Zdroj: anonymní respondent

Poslední získané mentální mapy jsou typu „prvky zakreslené uvnitř definované oblasti“. Dotazovaným jedincům byl zobrazen polygon představující Česko v souřadnicovém systému S-JTSK (ARCDATA, 2003), do kterého měli za úkol co nejpresněji umístit všechna česká krajská města. Pro každého respondenta byl předem vytvořen prázdný shapefile typu *Point*, do kterého pak klikáním do mapy na příslušná místa v režimu editace jednotlivá krajská města umísťoval. Každý určený bod se ihned graficky zobrazil a zároveň se pod identickým kódem uložil do atributové tabulky shapefile. Respondent mohl se všemi body do poslední chvíle posunovat tak, aby co nejvíce odpovídaly jeho představě o rozložení krajských měst. Počet krajských měst ani jejich názvy nebyly respondentům sdělovány, přesto všichni dotazovaní zakreslili 13 správných měst. Na závěr byl na základě respondentova sdělení přiřazen každému bodu název města (jeho zkratka), aby mohly být následně společně porovnávány. Celkem takto vzniklo 7 mentálních map krajských měst Česka.



Obr. 10 *Mentální mapa a originál krajských měst Česka*

Zdroj: anonymní respondent

Originálem k mentálním mapám krajských měst byla zvolená bodová vrstva obcí Česka (ARCDATA, 2003), jejichž výběrem a uložením byla vytvořena bodová vrstva českých krajských měst. Mentální mapa českých krajských měst společně s originálem a předkládaným polygonem je zobrazena na obr. 10.

Více ukázek od každého druhu mentálních map je uvedeno v příloze, všechny získané mentální mapy byly jsou pak v digitální podobě uloženy na přiloženém CD-ROM.

4.3 Hodnocení tvarové a polohové přesnosti (absolutní)

Běžné geografické mapy je možné hodnotit ze dvou hledisek, buď podle jejich geometrie, nebo podle obsahu. Zatímco geometrické parametry jsou již delší dobu jasně definovány (konfigurace, orientace, měřítko a umístění vůči zemskému povrchu), teorie hodnocení obsahu geografických map není zatím zcela jasně popsána. Proto je i v případě mentálních map vhodné začít se zkoumáním jejich geometrické přesnosti, kde lze očekávat dosažení uspokojivějších výsledků (Tobler, 1976). Metody hodnocení mentálních map v této kapitole se věnují hodnocení tvarové a polohové přesnosti.

4.3.1 Společné podmínky pro možnost hodnocení přesnosti

Pro možnost hodnocení přesnosti musí mentální mapy kromě obecných podmínek pro hodnocení mentálních map v GIS (viz kap. 4.1.1) splňovat následující podmínky:

- hodnocené mentální mapy jsou komparativní, tzn. lze je porovnávat se skutečností,
- ke každé mentální mapě (popř. souboru mentálních map) existuje „originál“, se kterým je možné mentální mapu srovnávat a vůči kterému je vztaženo hodnocení.

4.3.2 Jednoduché metody hodnocení geometrické přesnosti

Princip a vstupní data

Jednoduché metody hodnocení slouží k obecnému porovnání mentální mapy a originálu. K dosažení výsledku využívají pouze základních početních funkcí předdefinovaných softwarem. Vstupem jsou libovolné mentální mapy zjednodušené do podoby polygonu (např. obrysová mentální mapa, zvektizovaný obvod plánu města apod.) a originál, se kterým budeme mentální mapy porovnávat.

Postup

Jedním ze základních ukazatelů vypovídajícím o podobnosti mentální mapy s originálem může být **plocha zakresleného území (rozloha)**. Rozlohu libovolného polygonu umí software ArcGIS spočítat pomocí funkce *Calculate Areas*. Zde je výhodné mít všechny zkoumané mentální mapy v jedné třídě (funkce *Merge*) a provést tak výpočet plochy pro všechny polygony najednou. Pokud jsou mentální mapy uloženy v personální databázi, provede se výpočet plochy automaticky (sloupec *Shape Area* v atributové tabulce). Třetí možností, jak zjistit plochu polygonu, je pomocí *Calculate Geometry* přímo v atributové tabulce, kde je navíc možnost nastavení jednotek výsledku. Pokud je v dalším sloupci přes *Field Calculator* vydělena plocha mentální mapy plochou originálu a tato hodnota vynásobena 100, je možné zjistit, kolik procent

plochy originálu mentální mapa zaujímá. Podobně jako plochu je možné spočítat a porovnat **délku obvodové linie** polygonu nebo jeho **nejdelší a nejkratší spojnicí**.

Pokud se jedná o mentální mapy s jednoznačným umístěním (např. o známých zeměpisných souřadnicích), je možné určit jejich **vzdálenost od originálu**, resp. vzdálenost těžiště mentální mapy od těžiště originálu. K určení těžiště je možné použít např. funkci *Feature To Point*, pomocí níž se spočítají těžiště všech mentálních map najednou (jsou-li v 1 třídě) a automaticky se z nich vytvoří nová bodová vrstva. V případě polygonů je za těžiště považováno centrum gravitace. Z linie se těžiště vypočítá jako vážený průměr středů jednotlivých segmentů linie, kde váhu určuje délka segmentu. Pokud je vstupem bodová vrstva, těžiště je spočteno jako průměr všech *x* a *y* souřadnic vstupních bodů (tzv. geografický střed). Ve všech případech je možné zaškrtnout pole *Inside*, které zaručí, že výsledné těžiště bude ležet uvnitř polygonu, resp. na vstupní linii či na jednom z množiny vstupních bodů (ArcGIS Desktop Help).

Následuje funkce *Point Distance*, kde za *Input Features* dosadíme vrstvu těžišť mentálních map a do položky *Near Features* těžiště originálu. Výsledkem je tabulka, která ve sloupečku „distance“ zobrazí požadované vzdálenosti.

Zhodnocení metody

Výše představené metody porovnávání přesnosti jsou velmi jednoduché, rychle proveditelné, ale jejich vypovídající schopnost je velmi nízká. Mohou sloužit k obecné charakteristice mentální mapy. Ve většině případů však nebudou tyto metody dostačující, jelikož nezohledňují asi nejvíce porovnávanou veličinu, a to tvar mentální mapy.

4.3.3 Metoda převedení obrysu na funkci

Princip a vstupní data

Metoda převedení obrysu na funkci je zaměřena především na porovnávání tvarových odchylek mentální mapy od originálu. Podstata metody vyplývá ze skutečnosti, že lépe než tvary dvou (a více) polygonů se budou porovnávat rozdíly v průběhu dvou (a více) funkcí. Princip převodu obrysu na funkci spočívá ve zjišťování vzdáleností od zvoleného bodu uvnitř polygonu (např. těžiště) k bodům ležícím na jeho obvodu a následné vynesení těchto vzdáleností do spojnicového grafu. Byly testovány 3 nové metody, jak zjistit vzdálenost bodů od zvoleného bodu uvnitř oblasti. První využívá směrovou růžici, druhá lomové body linie (vrcholy polygonu) a třetí pevný počet rovnoměrně rozmístěných bodů.

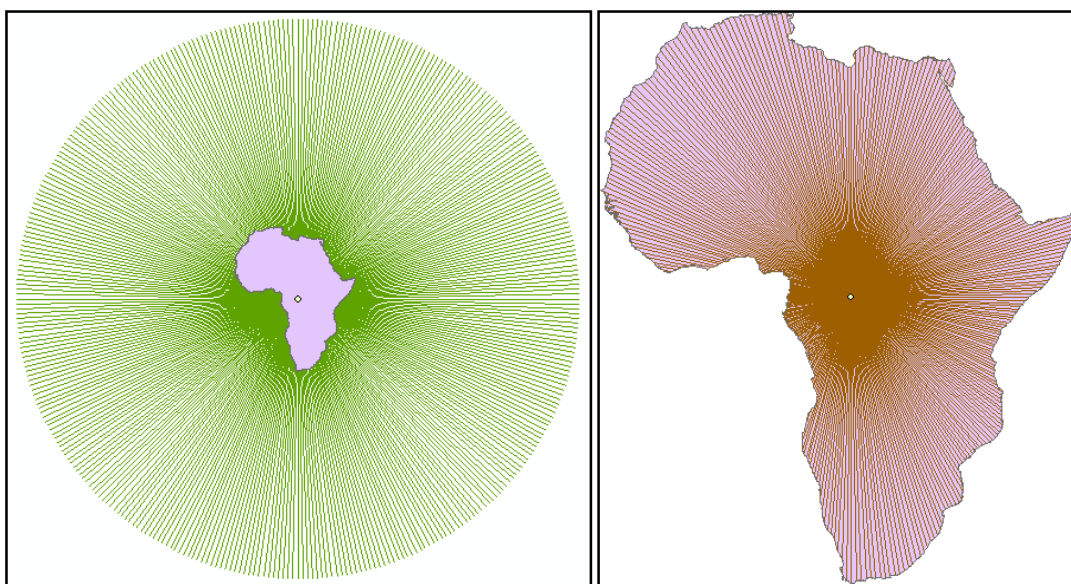
Pro větší množství mentálních map, které již nelze zobrazit do jednoho přehledného grafu, byla zavedena matematická metoda využívající Fourierovy transformace. Pomocí vypočtených koeficientů lze určit přibližnou míru podobnosti mentálních map s originálem a do spojnicového grafu tak již zobrazovat pouze mentální mapy odpovídající si kvality.

Mentální mapy vstupující do této metody by měly mít charakter polygonu (pro první dvě varianty), nebo linie (pro třetí variantu). Může se jednat o mentální mapy představující obrys oblasti (např. obrys Afriky), ale obrys může být také uměle vytvořen (např. pospojováním

výrazných prvků na mentální mapě města). Důležité je také dobře stanovit počáteční bod, ke kterému budou všechny vzdálenosti vztaženy (viz kapitola 4.1.3).

1) Metoda převedení obrysu na funkci přes směrovou růžici

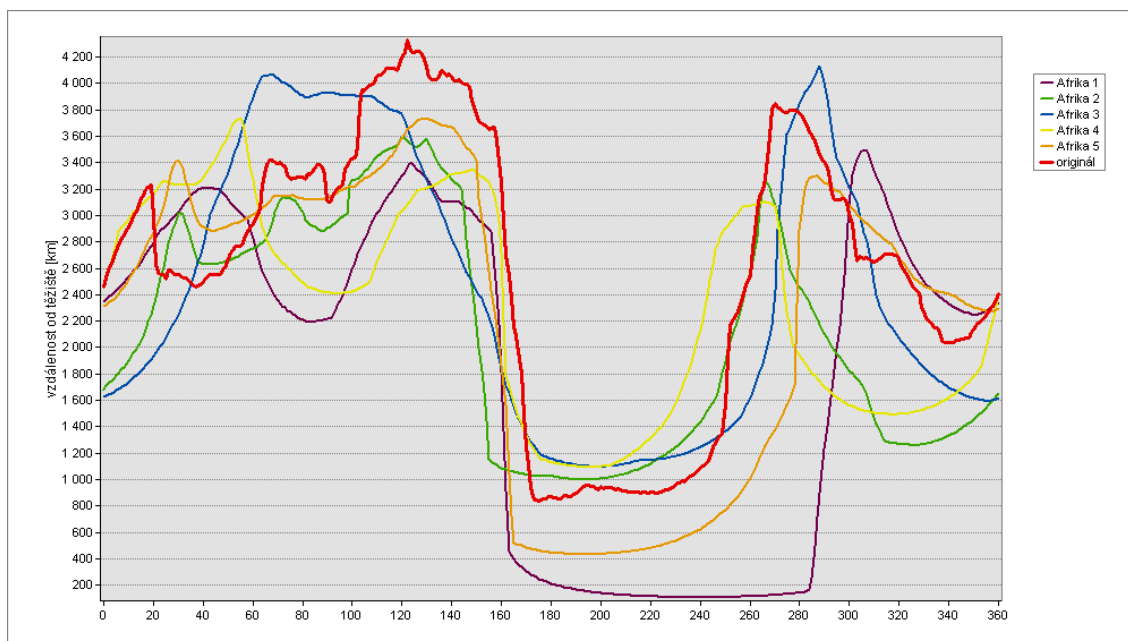
Jako první byla vytvořena metoda využívající odečítání vzdáleností pouze v určitých předem stanovených směrech. Nad počátečním bodem (v tomto případě těžištěm polygonu) byla pomocí nástroje *2-Point Line* z nabídky rozšířených editovacích nástrojů *COGO* vytvořena směrová růžice o 360 paprscích, tedy po 1 stupni (viz obr. 11 vlevo). Počátek (0°) zde odpovídá východnímu směru a dále bylo postupováno proti směru hodinových ručiček. Následně bylo funkcí *Clip* provedeno její oříznutí podle daného polygonu (viz obr. 11 vpravo) a spočteny délky jednotlivých paprsků směrové růžice. To je možné provést přímo v atributové tabulce pomocí *Calculate Geometry* a zvolení požadovaného parametru *Length*. Pakliže jsou mentální mapy uloženy v personální databázi, provede se výpočet délek segmentů automaticky (sloupec *Shape Length*). Výsledkem jsou absolutní hodnoty vzdáleností pomyslných bodů, umístěných na místech průsečíků obvodu mentální mapy se směrovou růžicí, od jejího těžiště. Tyto vzdálenosti jsou navíc v konkrétních, předem libovolně definovaných, směrech (zde 360).



Obr. 11 Směrová růžice o 360 paprscích (vlevo) a její oříznutí dle polygonu (vpravo)

Zdroj: vlastní tvorba v software ArcGIS

Výsledné hodnoty všech mentálních map je vhodné zobrazit do jednoho společného spojnicového grafu, kde osa *x* bude udávat úhel (směr) a osa *y* vypočtenou vzdálenost. Graf je možné vytvořit buď přímo v prostředí ArcGIS v záložce *Tools/Graphs/Create*, nebo načtením atributové tabulky (souboru *.dbf) např. do programu Excel. Výsledný graf po aplikaci metody převedení obrysu na funkci přes směrovou růžici pro originál a 5 mentálních map kontinentu Afrika zobrazuje graf 1.

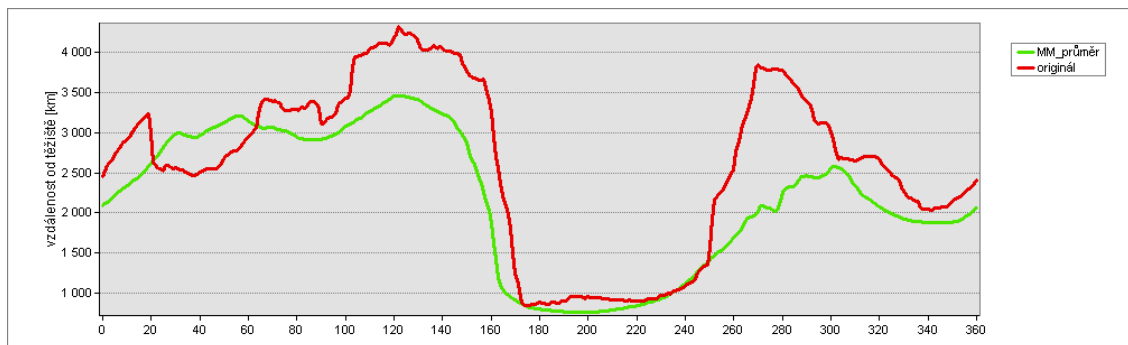


Graf 1 Výsledný graf metody převodu obrysu na funkci s využitím směrové růžice
 0° na ose x odpovídá východu, 90° severu, 180° západu a 270° jižnímu směru od těžiště MM
 Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Při interpretaci grafu (a to platí pro všechny tři metody převedení obrysu na funkci!) je nutné si uvědomit, že na míře podobnosti tvaru křivky mentální mapy a originálu se podílejí tři vlastnosti mentální mapy, a to její **tvar**, **velikost** a **orientace**.

Všechny křivky ve výsledném grafu metody využívající směrovou růžici mají podobný průběh, což vypovídá o jisté kvalitě mentálních map. V místech, kde se křivka mentální mapy nachází „nad“ křivkou originálu, je mentální mapa nakreslena větší než originál, naopak v místech, kde je „pod“ křivkou originálu, je mentální mapa menší než originál. Oblasti lokálních maxim funkcí odpovídají poloostrovům, naopak lokální minima funkcí korespondují s oblastmi zálivů. Posunutí funkce mentální mapy, v případě, že je posunutí konstantní, svědčí o špatné orientaci (natočení) mentální mapy vzhledem k originálu.

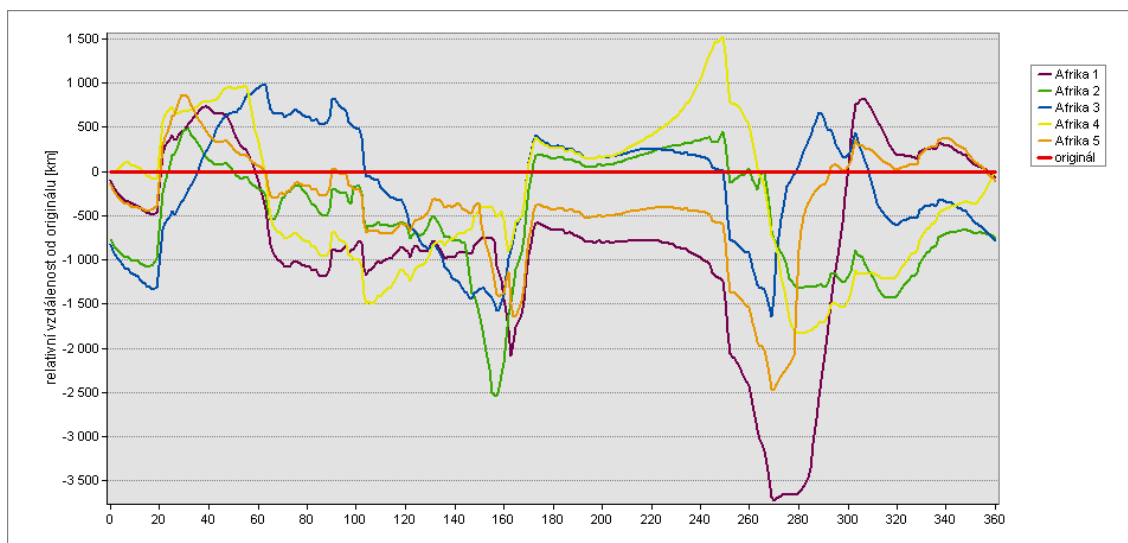
Výsledky za jednotlivé mentální mapy je pro obecné hodnocení možné sloučit do jedné agregované mentální mapy představující průměr z mentálních map od všech respondentů (nebo jejich vybraného vzorku). Agregovanou mentální mapu je možné získat pomocí vypočtení průměrů všech vzdáleností požadovaného vzorku mentálních map v jednotlivých směrech. Výslednou křivku agregované mentální mapy (z pěti mentálních map) a křivku originálu zobrazuje graf 2. Z grafu vyplývá, že respondenti měli tendenci (až na malou oblast na SV) kreslit mentální mapy menší, než je originál. Největších odchylek dosahuje agregovaná mentální mapa v oblasti severní a především v jižní části Afriky, z čehož lze usuzovat, že respondenti podceňují severo-jížní rozměr afrického kontinentu. Naopak východo-západní rozměr je vystižen relativně přesně.



Graf 2 Agregovaná mentální mapa z 5 mentálních map (průměr) a originál
0 na ose x odpovídá východu, 90 severu, 180 západu a 270 jižnímu směru od těžiště MM

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Další možností vizualizace výsledků je vytvoření grafu s relativními odchylkami mentálních map vzhledem k originálu. Relativní odchylky se dají získat snadno pomocí propojení atributové tabulky každé mentální mapy a originálu a spočtením rozdílu hodnot ve sloupcích s absolutními hodnotami vzdáleností od těžiště. Pokud relativní odchylky vyneseme do grafu (viz graf 3), můžeme porovnávat, o kolik se mentální mapa odchyluje v daném místě od originálu a v jakém směru. Pokud by byla mentální mapa tvarově totožná s originálem a lišila se pouze velikostí, výsledkem by byla přímka rovnoběžná s přímkou odpovídající originálu. Míra nelineárnosti funkce tedy značí míru nepřesnosti mentální mapy.



Graf 3 Grafické znázornění relativních odchylek mentálních map od originálu
0 na ose x odpovídá východu, 90 severu, 180 západu a 270 jižnímu směru od těžiště MM

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Pomocí relativních odchylek však nelze odhalit chybu v natočení mentální mapy vzhledem k originálu. Rotovaná mentální mapa se bude jevit jako velmi špatná. Z grafu relativních odchylek je také těžší rozpoznat, o jaké místo v mentální mapě se jedná (např. kde křivka odpovídá Somálskému poloostrovu).

Aby nemusel být výše popsán postup metody převedení obrysu na funkci aplikován pro každou mentální mapu zvlášť, byl celý postup zautomatizován pomocí napsání skriptu pro

příkazový řádek (viz příloha). Pro použití skriptu je nejprve třeba jej přizpůsobit pro konkrétní mentální mapy, tj. nastavit správnou cestu ke vstupním a výstupním datům, provést dle potřeby změnu jejich pojmenování, popř. nastavit vhodné hodnoty volitelných parametrů.

Zhodnocení metody

Metoda převedení obrysu na funkci přes směrovou růžici se zdá být velmi elegantní metodou. Nedochází zde k žádným složitým výpočtům, není třeba speciálních algoritmů a celý proces je snadno pochopitelný. Využití směrové růžice se však přesto ukázalo jako ne zcela výhodné řešení. Neautomatizované vykreslování směrové růžice zabere poměrně hodně času (záleží na počtu paprsků) a jelikož se s ní velmi špatně manipuluje, vyžaduje své vykreslení nad každou mentální mapou zvlášť, což je z časových důvodů nemyslitelné. Tento nedostatek je možné obejít v případě, že mentální mapy nemají přesně definovanou svou polohu a je tedy možné s nimi posunovat. Pak lze ztotožnit všechny mentální mapy včetně originálu nad jeden bod (např. přes těžiště) a tento bod zároveň použít jako střed směrové růžice, která tak bude společná pro všechny zkoumané mapy. Důležité je neporušit při tom podmínku, aby zvolený bod ležel uvnitř všech hodnocených mentálních map (viz níže).

Další velkou nevýhodou této metody je fakt, že správně funguje pouze pro polygony, které mají s každým paprskem růžice právě jeden průsečík (tzv. „star-shaped“ polygony), a zároveň počáteční bod směrové růžice leží uvnitř tohoto polygonu. Pokud by nebyly tyto dvě podmínky splněny, některé paprsky směrové růžice by polygon protnuly buď vícekrát (viz obr. 12), nebo vůbec a docházelo by tak ke zkreslení výsledku. Délka paprsku je počítána k nejvzdálenějšímu místu protnutí, záliv na obr. 12 tak bude touto metodou zanedbán.



Obr. 12 Ukázka nevhodného polygonu (paprsek protne linii vícekrát)

Zdroj: vlastní tvorba v software ArcGIS

Naopak obrovskou výhodou všech tří variant převodu obrysu na funkci je to, že výsledky nejsou ovlivněny rozdílným měřítkem jednotlivých mentálních map (viz diskutovaný problém měřítka v kap. 4.1.4). Mapa většího měřítka (tedy větší plochy) bude mít funkci v grafu posunutou jen o něco výše, ale na průběh funkce nemá velikost plochy žádný vliv. Výsledky dokonce neovlivní ani odlišná orientace mentální mapy, jelikož počátek je možné nastavit pro každou křivku libovolně a tím je tedy sjednotit (nutné především v případě porovnávání relativních odchylek). Interpretace všech grafů vzniklých touto metodou je velmi snadná.

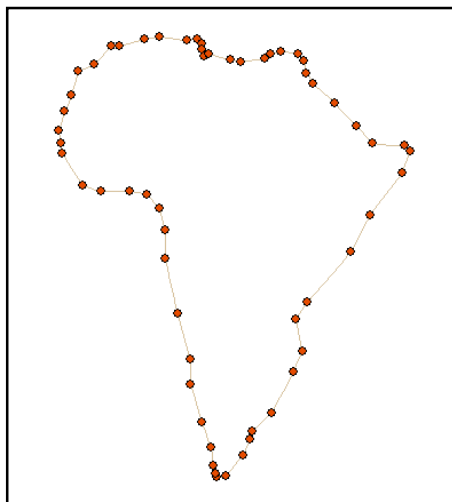
Výhodou metody využívající směrové růžice je oproti zbývajícím dvěma variantám metody převodu na funkci také fakt, že odečítá vzdálenosti v libovolně zvolených směrech, stejných pro

všechny mentální mapy. Další výhodou proti následujícím metodám je, že zde nezáleží na místě, kde se začne s vektorizací mentální mapy. Metoda je tak velmi univerzální.

2) Metoda převedení obrysu na funkci přes rozložení na lomové body

Pro nevýhody výše popsané metody převodu na funkci přes směrovou růžici byla hledána jiná metoda, která by uměla převést na funkci i polygony se značně členitým tvarem (pobřežím). Tento požadavek splňuje metoda, která nejprve převede obrys na bodovou vrstvu, následně spočte vzdálenosti těchto bodů od zvoleného vztažného bodu, dále spočte vzdálenost mezi jednotlivými body po obvodu a tyto hodnoty vynese, stejně jako v předchozím případě, do spojnicového grafu.

K převedení obrysu na bodovou vrstvu je použita funkce *Feature Vertices To Points*, která „rozloží“ polygon (linii) na vrcholy (lomové body), viz obr. 13. Výsledkem je nový shapefile, kde jeden záznam v atributové tabulce odpovídá jednomu bodu. Důležité je si uvědomit, že lomové body obrysu vznikají při vektorizaci mentální mapy. Proto je třeba dbát na co nejpřesnější dodržení tvaru vektorizovaného podkladu a zachovat dostatečnou tvarovou podrobnost. Pro správnou funkčnost metody je nutné vektorizovat všechny mentální mapy stejným směrem (např. po směru hodinových ručiček). Zároveň je výhodné začít s vektorizací každé mentální mapy vždy ve stejném místě (např. zvolit si charakteristický bod, který je rozpoznatelný na všech mentálních mapách nebo nejsevernější, nejižnější bod apod.), jelikož v místě počátku kresby vznikne bod, jehož vzdálenost od vztažného bodu bude počítána jako první. Tím bude ušetřena nutnost sjednocování počátků funkcí ve výsledném grafu.



Obr. 13 Mentální mapa rozložená na lomové body

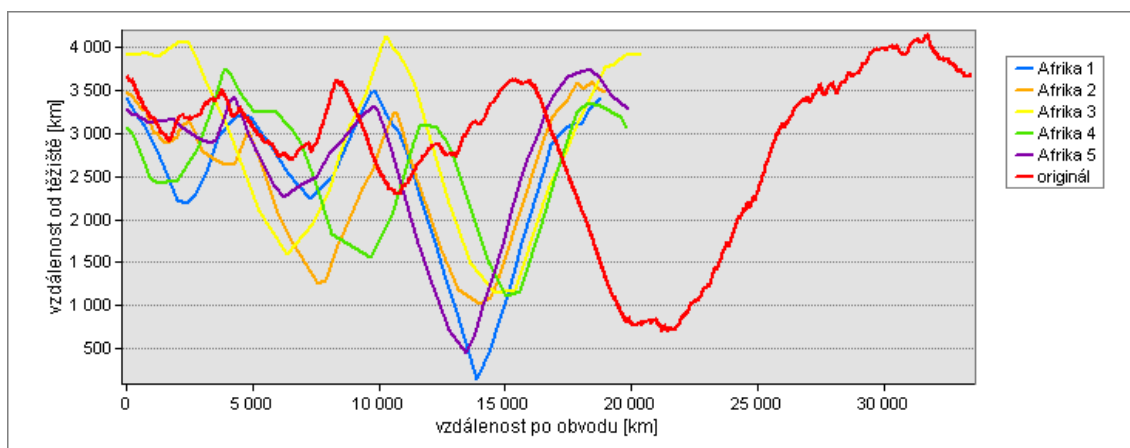
Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Po vytvoření vrstvy lomových bodů je již možné spočítat vzdálenosti jednotlivých vzniklých bodů na obvodu polygonu od zvoleného vztažného bodu (např. těžiště oblasti) pomocí funkce *Point Distance*, kde za *Input Features* dosadíme vrstvu lomových bodů a do okénka *Near Features* vybereme vztažný bod. Výsledek je uložen ve formě tabulky.

Aby bylo možné vytvořit graf, je třeba ještě spočítat hodnoty, které budou vyneseny na osu x . Vzhledem k tomu, že lomové body nejsou rozmístěny po obvodu rovnoměrně, nelze jako proměnnou na ose x použít jejich pořadová čísla (tzn., nelze předpokládat, že poloha lomového bod č. 5 u jedné mentální mapy odpovídá poloze lomového bodu č. 5 u jiné mentální mapy). Proto byla jako proměnná zvolena vzdálenost od prvního lomového bodu po obvodu.

Pro spočítání délek úseček mezi jednotlivými lomovými body byla nejprve využita funkce *Split Line At Vertices*, která „rozseká“ obrysovou linii mentální mapy v místech lomových bodů a každý segment uloží jako jeden záznam v atributové tabulce. Délky jednotlivých segmentů se pak dají vypočítat funkcí *Length* z nabídky *Calculate Geometry*. Pro potřeby grafu je dále nutné provést kumulativní součet délek těchto segmentů. Tento krok byl vzhledem k nenalezení vhodné početní funkce v ArcGIS proveden v softwaru Excel, s využitím výměnného formátu *.dbf. Důležitým krokem je také přidání jednoho záznamu s hodnotou kumulativní vzdálenosti „0“, která bude odpovídat počátečnímu lomovému bodu.

Ani kumulativní vzdálenost lomových bodů po obvodu mentální mapy však ještě není konečným výsledkem. Pokud by byly tyto hodnoty brány jako proměnné pro osu x , graf by vypadal velmi nepřehledně (viz graf 4). Nestejné délky jednotlivých křivek jsou dány různými délkami obvodu jednotlivých mentálních map. Jelikož obrys „originální“ Afriky je oproti mentálním mapám velmi podrobný (skládá se ze 4988 lomových bodů, mentální mapy v průměru ze 47), dosahuje její obvod mnohem větší délky a porovnatelnost s mentálními mapami je takto velmi obtížná.

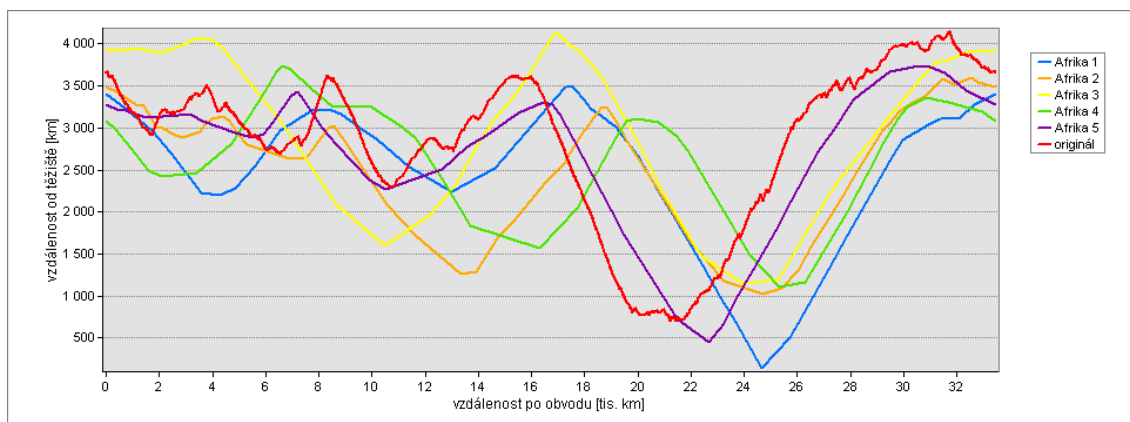


Graf 4 Neupravený graf metody převedení na funkci s využitím vrcholů polygonu
Rozdílná délka křivek v grafu je dána různým počtem lomových bodů každé mentální mapy a originálu (červeně)

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Aby bylo možné z grafu zjistit tvarové odchylky mezi jednotlivými mentálními mapami, je nutné provést umělé „roztážení“ všech funkcí na stejnou délku (tedy sjednotit délku obvodu všech zkoumaných map). Toho je možné docílit přenásobením hodnot vynášených na osu x koeficientem, který bude odpovídat poměru požadované a skutečné délky obvodu. V tomto ukázkovém případě byly všechny funkce „roztáhány“ na délku odpovídající originálu (viz graf 5). Větší „zubatost“ křivky originálu oproti křivkám mentálních map je způsobena tím, že se

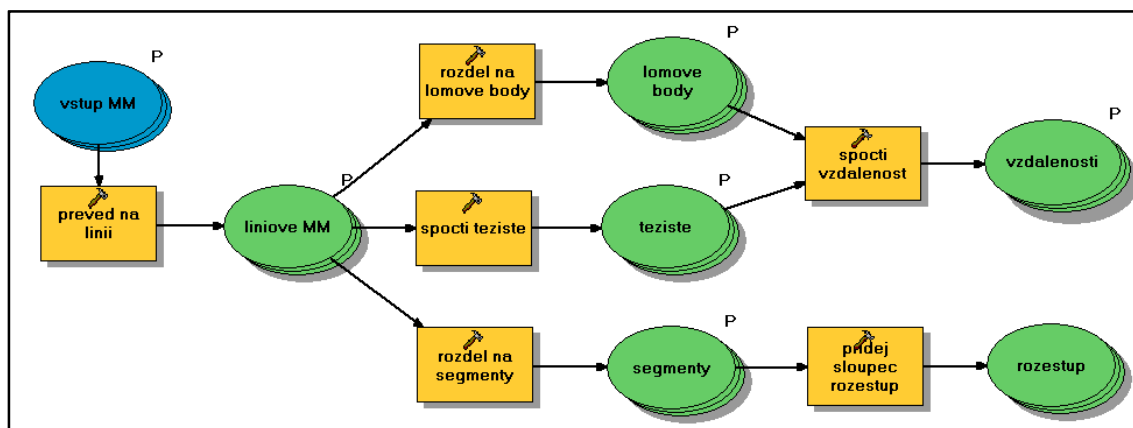
skládá z několikanásobně vyššího počtu lomových bodů než zkoumané mentální mapy. Pro správnou interpretaci grafu je také nutné vědět, která vzdálenost představuje v grafu počátek (tedy kde bylo započato s vektorizací – viz výše).



Graf 5 Výsledný graf metody převedení na funkci s využitím vrcholů polygonu
Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Při interpretaci grafu je nutné si všimnout stejných kritérií, jako v případě interpretace grafu metody využívající směrové růžice. I zde platí, že se na průběhu výsledné křivky projeví tvar, velikost a orientace mentální mapy.

Charakter dat neumožňuje snadné vytvoření agregované mentální mapy ani grafu relativních odchylek. K jednotlivým lomovým bodům mentální mapy totiž neexistují ekvivalenty u ostatních mentálních map, resp. originálu. V každé x -souřadnici lomového bodu by tak bylo nutné odečíst hodnotu y z ostatních křivek.



Obr. 14 Model metody převodu obrysu na funkci přes vrcholy polygonu
Zdroj: vlastní tvorba modelu v software ArcGIS

Pro automatizaci postupu pro více mentálních map byl vytvořen skript pro příkazový řádek (viz příloha). Univerzálnost metody pro libovolná data byla rozšířena vytvořením modelu „převed na funkci“ v *Model Builderu* (obr. 14), který nejprve vstupní polygony (mentální mapy) převede na obvodové linie, poté automaticky spočte jejich těžiště, rozloží obvod na vrcholy a jako výstup uloží tabulku vzdáleností bodů od těžiště. Dále na základě lomových bodů provede

rozložení mentálních map na segmenty, kde do atributové tabulky přidá sloupec s názvem „rozestup“, do kterého bude dále umístěna délka segmentů. Výpočet kumulativní četnosti a následné „roztažení“ funkce na společnou délku je již nutné provést samostatně (viz výše).

Zhodnocení metody

Metoda převodu na funkci přes vrcholy polygonu odstranila požadavek na „star-shaped“ polygony (viz nevýhody předchozí metody), ale oproti předchozí variantě má také nevýhody. Na rozdíl od metody využívající směrové růžice zde není možné určit směr od vztažného bodu, ve kterém bude odečtena vzdálenost a ani počet těchto vzdáleností. Obojí je již předem dáno umístěním lomových bodů na obvodu obrysové mentální mapy. Každá mentální mapa se navíc skládá z různého počtu liniových segmentů, proto je i různý počet lomových bodů (vrcholů) a s tím související počet vzdáleností, což způsobuje rozdílné prokreslení křivek ve výsledných grafech.

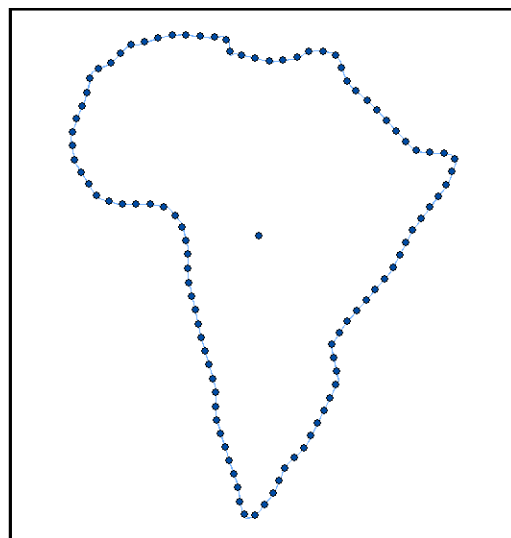
Naopak výhodou této metody oproti zbývajícím dvěma variantám převodů obrysu na funkci je skutečnost, že díky odečítání vzdáleností v lomových bodech nedojde v průběhu hodnocení k žádnému tvarovému zjednodušování mentální mapy. Hodnocení je nezávislé na rozdílné poloze mentálních map. Postup je navíc pomocí modelu (resp. skriptu) téměř celý automatizován.

3) Metoda převedení obrysu na funkci přes rozložení na daný počet bodů

Poslední navržená metoda odstraňuje do jisté míry nedostatky obou předchozích metod. Při navrhování metody byl kladen důraz na možnost libovolného tvaru vstupní mentální mapy a zároveň aby byly výsledky snadno porovnatelné i bez předchozí úpravy. Pro usnadnění interpretace výsledků je i zde třeba dbát stejných pravidel při vektorizaci mentálních map, jako u metody využívající lomové body (tj. dodržet stejný počátek a směr vektorizace).

V panelu *Editor* existuje funkce *Divide*, která dokáže rozdělit libovolný označený liniový prvek na definovaný počet stejně dlouhých dílů. Je možné zadat maximálně 100 dílů, ale pokud je potřeba rozdělit prvek podrobněji, dá se toto omezení obejít pomocí zadání potřebné délky segmentu (celkový obvod vydělený počtem požadovaných dílů). O tom, že funkce *Divide* proběhla správně, je možné se přesvědčit v atributové tabulce děleného prvku. První záznam odpovídá původnímu nerozdělenému prvku, každý další záznam představuje jeden z jeho dílčích segmentů.

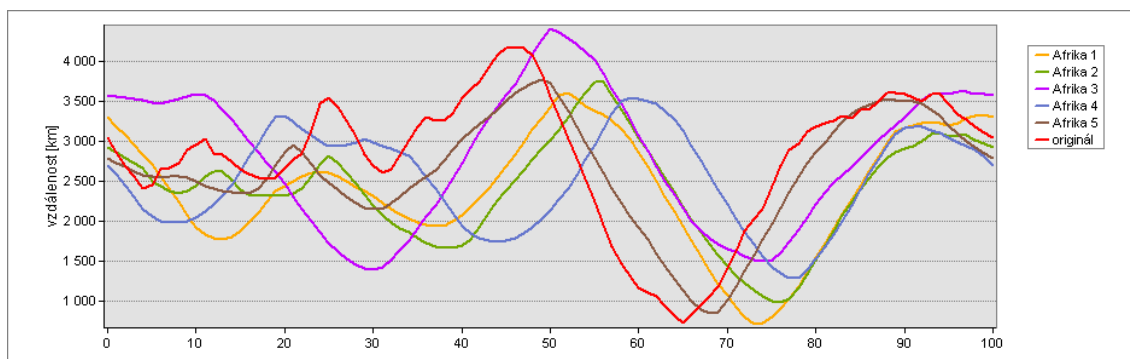
Aby bylo možné počítat vzdálenost od zvoleného bodu (těžiště) oblasti, je třeba jednotlivé segmenty převést na body. Toto je možné pomocí již dříve zmiňované funkce *Feature To Point*, která zároveň z prvního záznamu vypočítá těžiště oblasti (viz obr. 15). Při použití funkce *Feature To Point* by měla být zaškrtnuta možnost *Inside*, aby výsledný bod (odpovídající těžišti segmentu) nebyl umístěn mimo původní linii. Před použitím funkce *Point Distance* pro výpočet vzdáleností je nutné z bodu představující těžiště vytvořit novou vrstvu a zároveň ho odstranit z původní tabulky (aby následně nepočítal vzdálenost sám od sebe).



Obr. 15 Mentální mapa Afriky rozdělená na 100 bodů

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Výsledné vzdálenosti je stejně jako v předchozích případech možné vizualizovat formou spojnicového grafu (graf 6). Křivky odpovídající jednotlivým mentálním mapám jsou na rozdíl od metody využívající směrovou růžici (viz graf 1) vyhlazenější, což je způsobeno zjednodušováním mentální mapy při převádění segmentů na množinu bodů.



Graf 6 Výsledek metody převedení na funkci s využitím rozložení na daný počet bodů

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Stejně jako u metody převodu obrysu na funkci s využitím směrové růžice je i zde možné vytvořit graf s křivkou agregované mentální mapy a graf znázorňující relativní odchylky mentálních map od originálu.

Zhodnocení metody

Tato metoda má oproti dvěma předchozím variantám výhodu v tom, že je možné ji použít pro libovolně složitý tvar liniového útvaru. Dokonce se ani nemusí jednat o útvar uzavřený, čímž se využití metody rozšiřuje o mentální mapy představující trasu mezi dvěma body. Stejně jako předchozí metoda převodu obrysu na funkci je invariantní vůči translaci a při dodržení počátečního bodu vektorizace (viz výše) i vůči rotaci. Do jisté míry se dá mluvit i o nezávislosti na rozdílném měřítku, neboť změna měřítka mentální mapy způsobí pouze posun křivky ve směru osy y, neovlivní však její průběh.

Drobným omezením této metody může být určité zjednodušení mentální mapy vlivem převodu segmentu na bod. Body totiž, na rozdíl od předchozí metody, neleží v lomových bodech zkoumané mentální mapy, čímž se mohou zanedbat některá její tvarová zakřivení. Tento nežádoucí vliv se dá omezit rozdělením mentální mapy na větší počet dílů, čímž se míra zjednodušení mentální mapy minimalizuje. Nevýhodou je také velmi nízká automatizace postupu.

4) Metoda využívající Fourierovu transformaci

Všechny tři výše popsané varianty metody převodu obrysu na funkci považují za výsledek spojnicový graf (popřípadě několik grafů), jehož správnou interpretaci je možné mentální mapy vzájemně porovnávat a zároveň určovat jejich kvalitu vzhledem k originálu. Toto lze však aplikovat pouze tehdy, pokud je porovnáváno jen určité malé množství mentálních map, a je tedy možné je všechny zobrazit do jednoho grafu. V případě, že do analýzy vstupuje větší množství mentálních map, stává se graf nepřehledným a znemožňuje se tak interpretace jeho výsledků. Proto byla v programu zavedena početní metoda, která pomocí Fourierovy transformace vypočte koeficienty (Fourierovy deskriptory), jimiž bude možné **matematicky popsat a ohodnotit** mentální mapy, a do grafu pak již zobrazovat vždy jen ty kvalitativně si odpovídající.

Fourierovy deskriptory patří mezi radiometrické deskriptory založené na znalosti hranic objektů (Horák, 2008). Pro výpočet deskriptorů je nejprve třeba vytvořit z bodů na obvodu obrysové mentální mapy radiální funkci. Body je možné získat jednou ze tří výše popsaných metod převodu obrysu na funkci, jejich x a y souřadnice pak s využitím Calculate Geometry v atributové tabulce příslušné vrstvy nebo funkcí *Add XY Coordinates* z nabídky *Data Management Tools*. Stejně se dají spočítat i souřadnice těžiště každé mentální mapy, avšak pro správnou funkčnost Fourierovy transformace je dobré, aby těžiště bylo počítáno už pouze z použitých bodů na obvodu mentální mapy (tzn. ne z celého polygonu či obrysu mentální mapy, jako v předchozích metodách). Těžiště množiny bodů je taktéž možné spočítat v software Matlab funkcí *mean(x)*. Radiální funkce $f(n)$ se vytvoří sestavením sekvence komplexních čísel, kde $x(n)$ a $y(n)$ jsou souřadnice bodu na obvodu, x_t a y_t souřadnice těžiště a i je imaginární jednotka. Při sestavování funkce je důležité zachovat vždy správné pořadí (stejný směr) bodů po obvodu mentální mapy. Díky následujícímu vzorci budou všechny mentální mapy ztotožněny těžištěm do bodu [0;0].

$$f(n) = x(n) - x_t + i(y(n) - y_t), n = 1..N$$

Na tuto funkci je možné aplikovat Fourierovu transformaci (FT), kterou se získají koeficienty $z(u)$. V programu Matlab se FT skrývá pod příkazem *fft(x)*.

$$z(u) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f(n) e^{\frac{-iun}{N}}, u = 1..N$$

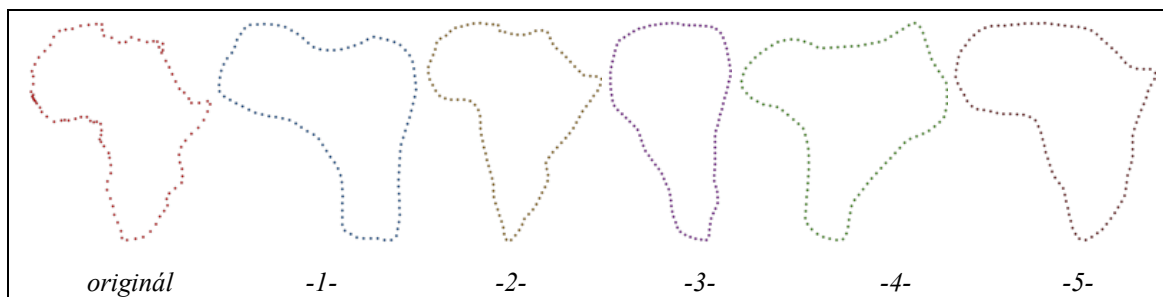
Každý koeficient je komplexní číslo odpovídající funkci sinus (kosinus) o určité frekvenci. Reálná část čísla odpovídá amplitudě funkce, imaginární část určuje fázi, tedy o kolik je třeba

počátek této funkce posunout. Díky tomu je možné pomocí inverzní Fourierovy transformace ($ifft(x)$) zpětně zkonstruovat původní funkci.

Z koeficientů $z(u)$ lze normalizací spočítat Fourierovy deskriptory $F(u)$, které jsou **nezávislé na rozdílné poloze a měřítku** mentálních map. První koeficient $z(0)$ nese pouze informaci o posunu mentální mapy. Jelikož jsou však všechny mentální mapy polohově ztotožněny nad bod $[0;0]$, můžeme první koeficient nahradit hodnotou 0. Normalizace se pak provede vydělením všech koeficientů $z(u)$ koeficientem $z(1)$, tedy druhým koeficientem v pořadí. Absolutní hodnoty deskriptorů $F(u)$ jsou navíc **invariantní vůči rotaci**. Největší význam mají především koeficienty na prvních příčkách odpovídající nižším frekvencím, které nesou informaci o celkovém charakteru funkce. Naopak poslední koeficienty odpovídají funkcím o nejvyšších frekvencích a nesou informaci pouze o detailech funkce (Horák, 2008).

$$F(u - 2) = \frac{z(u)}{z(1)}, u = 2..N$$

Pro snadnější výpočet Fourierových deskriptorů byl vytvořen komentovaný skript (*fourier.m*) v programu Matlab (viz příloha). Vstupem je soubor *vstup.mat*, který obsahuje jednotlivé proměnné, tedy souřadnice x a y jednotlivých bodů po obvodu mentálních map (ozn. *mm1*, *mm2*, ...) a originálu (ozn. *aaa*). Prvním krokem je vypočtení souřadnic těžiště pro každou mentální mapu i originál. Následuje výpočet koeficientů Fourierovy transformace a Fourierových deskriptorů. Po vypočtení jejich absolutních hodnot jsou ze zvoleného počtu (proměnná *počet*) prvních hodnot vypočteny rozdíly oproti originálu (umocněné na 2) a tyto jsou následně sečteny (ozn. *chyba1*, *chyba2*, ...). Čím menší je výsledná hodnota, tím více by se měla mentální mapa podobat originálu.



Obr. 16 Originál a 5 mentálních map Afriky složené ze 100 bodů
Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

odchylka	Afrika 1	Afrika 2	Afrika 3	Afrika 4	Afrika 5
počet 10	0,123	0,130	0,336	7,789	0,063
počet 30	0,130	0,135	0,345	7,803	0,070
počet 50	0,131	0,135	0,346	7,803	0,071
počet 100	2,125	0,763	5,707	130,947	0,487

1. místo
2. místo
3. místo
4. místo
5. místo

Tab. 1 Hodnota odchylek mentálních map od originálu pomocí Fourierových deskriptorů

V tabulce jsou uvedeny hodnoty odchylek Fourierových deskriptorů mentálních map od originálu. Proměnná „počet“ v prvním sloupci značí, kolik prvních deskriptorů vstupovalo do výpočtu odchylky.

Zdroj: vlastní výpočet v software Matlab

Jak ukazuje tabulka 1, pořadí kvality mentálních map zůstává i při změně počtu koeficientů (až na poslední případ, kdy bylo k výpočtu chyby využito všech koeficientů) stejné. Toto však nemusí být pravidlem. Ačkoli výsledné pořadí mentálních map zcela neodpovídá vizuálnímu hodnocení autorky, je důležité, že jsou jednoznačně odděleny relativně kvalitní mentální mapy (v tomto případě č. 1, 2 a 5 na obr. 16) od méně dobré mapy č. 3. Největších tvarových odchylek dosáhla touto metodou mentální mapa č. 4.

Zhodnocení metody

Fourierovu transformaci, jako doplněk k metodám převodu obrysu na funkci, je vhodné použít v případech, kdy je třeba vyhodnotit a vzájemně porovnat velké množství mentálních map, přičemž není možné všechny znázornit do jednoho přehledného grafu. Pro dosažení správných výsledků je nutné zvolit dostatečný počet bodů na obvodu mentální mapy, které budou dobře vystihovat tvar mentální mapy.

Velkou výhodou Fourierových deskriptorů při porovnávání tvarových odchylek je jejich **nezávislost na poloze, měřítku a rotaci** mentálních map, tudíž jejich využití je velmi univerzální. Díky přiloženému skriptu pro software Matlab je výpočet velmi snadný a rychlý.

4.3.4 Metoda hodnocení polohových odchylek přes identické body

Princip a vstupní data

Hlavní úkol této metody spočívá v určení polohových odchylek mezi umístěním bodu na mentální mapě a jeho skutečnou polohou v originále (na referenční mapě). Rozdíl v aplikaci metody spočívá v charakteru vstupních dat. Pokud jsou vstupními daty mentální mapy bez geometrické reference (např. mentální mapa typu „plán“), je nutné provést geometrickou transformaci mentální mapy k originálu pomocí zvolených identických bodů, na nichž budou zároveň spočteny polohové odchylky. Pokud však mentální mapa obsahuje body, linie nebo polygony, které jsou předem určeny za referenční (např. jsou v mentální mapě již předkresleny), provede se nejprve rektifikace (tj. transformace polohy prvků z jednoho souřadnicového systému do jiného systému) mentální mapy na originál právě přes tyto prvky a odchylky na identických bodech se zkoumají až následně. Příkladem takové mentální mapy je např. mentální mapa typu „prvky uvnitř definované oblasti“ nebo „trasa mezi dvěma body“, kde se rektifikace provede přes počáteční a koncový bod trasy.

Třetí možností, kterou použili ve své práci Peake a Moore, spočívá v kombinaci výše uvedených metod. Nejprve je mentální mapa transformována do souřadnicového systému originálu pomocí malého množství identických bodů umístěných do místa, kde se předpokládá, že je mentální mapa nejpřesnější (např. bydliště, náměstí) a až po té se zkoumají odchylky na dalších identických bodech (Peake; Moore, 2004). Výsledky této metody však mohou být vzhledem k nerovnoměrnému rozmístění bodů pro transformaci velmi jednostranné a tím pádem zkreslené.

1) Metoda hodnocení polohových odchylek přes identické body u mentálních map bez geometrické reference

Při aplikaci této metody je na základě množiny identických bodů mezi mentální mapou a originálem (referenční mapou) provedena transformace mentální mapy do takové pozice, aby její geometrie co nejlépe odpovídala originálu. Důležitou podmínkou pro transformační algoritmus je, aby se jeho aplikací původní (mentální) mapa nijak nedeformovala, tedy aby došlo maximálně k lineární změně měřítka, orientace a posunu mentální mapy. Vhodnou transformací, používanou i při kartometrických analýzách historických map, je např. Helmertova 4-parametrová nebo afinní 5-parametrová transformace (Bayer; Potůčková; Čábelka, 2009). Jelikož software ArcGIS nenabízí dostatečné možnosti v nastavení transformačních algoritmů, byl pro výpočet transformačního klíče a polohových odchylek identických bodů zvolen open-source software MapAnalyst (verze 1.3.13).

Do software MapAnalyst byla přes *File/Import Old Map Image* načtena mentální mapa ve formě naskenovaného obrázku. Za originál byla zvolena mapa *Open Street Map*, která je již integrovanou součástí MapAnalyst, ale je zde možnost zvolení i vlastního originálu. Následně bylo na mentální mapě i v originále určeno 21 jednoznačně identifikovatelných identických bodů (viz obr. 17). Snaha byla o co nejrovnoměrnější rozmístění bodů po celé ploše mapy, což je velmi důležité pro správný výsledek analýzy. Za identické body byly voleny nejčastěji křižovatky komunikací, nebo středy zakreslených významných budov.

Pro výpočet transformačního klíče se využívá záměrně nadbytečného počtu identických bodů (např. pro afinní transformaci by stačily pouze 3 body), pro výpočet parametrů transformace se pak využívá metody nejmenších čtverců. To má za následek, že i identické body budou odchýleny od své ideální pozice, avšak tak, aby celková odchylka byla co nejmenší.



Obr. 17 Volba identických bodů na mentální mapě centra Jilemnice
Zdroj: vlastní určení bodů v software MapAnalyst

Po nasbírání identických bodů mohla být provedena samotná transformace. Pro porovnání výsledků byly vyzkoušeny oba výše uvedené typy, tedy Helmertova 4-parametrová dána rovnicemi

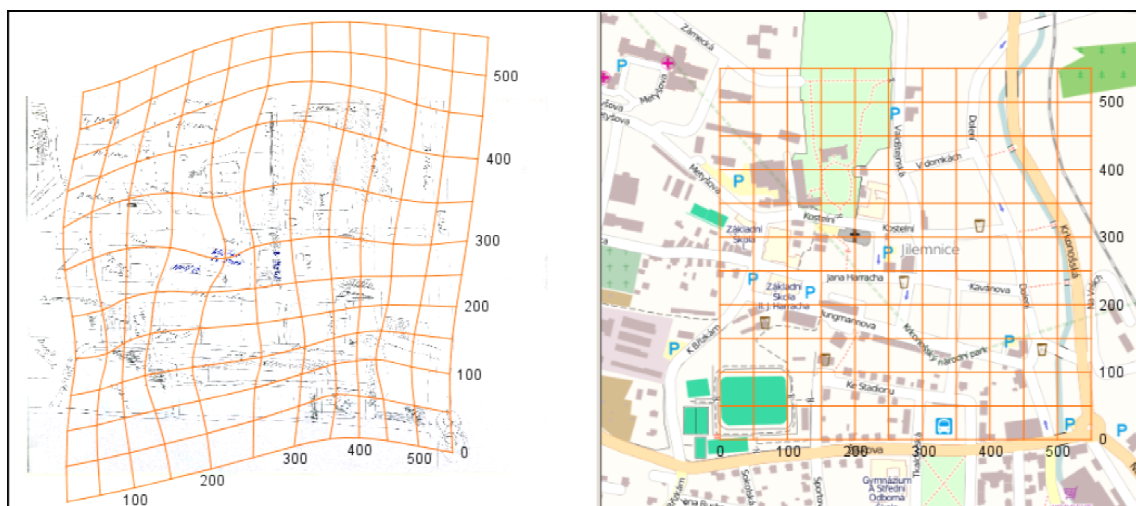
$$X = \Delta x + x \cos(\alpha) - y \sin(\alpha) \quad Y = \Delta y + x \sin(\alpha) + y \cos(\alpha),$$

a afinní 5-parametrová transformace prvního stupně vyjádřená rovnicemi

$$X = \Delta x + m_x \cos(\alpha)x - m_y \sin(\alpha)y \quad Y = \Delta y + m_x \sin(\alpha)x + m_y \cos(\alpha)y,$$

kde x , y představují souřadnice v souřadnicovém systému mentální mapy, X , Y souřadnice v souřadnicovém systému referenční mapy, Δx a Δy posuny ve směru os x a y , m_x a m_y měřítkové koeficienty ve směru os x a y , α úhel rotace.

Výsledkem je kromě vypočtených parametrů transformačních rovnic, střední polohové chyby a přibližného měřítka mapy také grafický výstup ve formě mřížky zkreslení (*Distortion Grid*) a znázornění vektorů polohových odchylek bodů (*Displacements*). Mřížka zkreslení (obr. 18) znázorňuje lokální zkreslení pomocí deformací pravidelné mřížky odpovídající originálu. Pro výpočet mřížky zkreslení se používá algoritmus multikvadratické interpolace (Jenny; Weber; Hurni, 2007).



Obr. 18 Mřížka zkreslení mentální mapy po afinní transformaci

Vpravo symetrická čtvercová mřížka na originále, vlevo odpovídající mřížka zkreslení na mentální mapě.

Zdroj: vlastní výpočet v software MapAnalyst

Vektory polohových odchylek identických bodů jsou znázorněny tak, že počátek každého vektoru je umístěn do bodu na mentální mapě a koncový bod do místa, kde by se daný bod nacházel, kdyby mentální mapa přesně odpovídala originálu (obr. 19). Velikosti a azimuty jednotlivých vektorů polohových odchylek je možné získat i v číselné podobě pomocí příkazu *File/Export Points/Linked points of Old end New Map and Vectors in New Map*. V tomto testovacím případě měla nejvyšší naměřená odchylka po Helmertově transformaci hodnotu 71,6 m (křižovatka ulic Valdštejnská a V Domkách), nejmenší 5,5 m (SZ roh náměstí), v případě afinní transformace byly extrémní hodnoty 67,5 m (dům č.p. 59-60) a 8,8 m (SZ roh náměstí).



Obr. 19 Vektory odchylek na identických bodech

Vlevo afinní 5-parametrová transformace, vpravo Helmertova 4-parametrová transformace. Počátek vektoru (křížek) je v místě určeného bodu na mentální mapě a končí v místě, kde by se bod měl nacházet, kdyby mentální mapa přesně odpovídala originálu (referenční mapě).

Zdroj: výpočet v software MapAnalyst

Software MapAnalyst dále nabízí možnost vygenerování izolinií měřítka hodnocené mapy a izolinie jejího stočení oproti originálu. Izolinie však nejsou popsány, proto je třeba k jejich interpretaci využít informace zobrazené po přejetí kurzoru. Pro vytvoření mapového výstupu je možné izolinie exportovat do GIS formátu shapefile (*.shp) a následně je vizualizovat včetně popisu např. v softwaru ArcGIS.

Zhodnocení metody

Tato metoda hodnocení, hojně využívaná při hodnocení historických map, se velmi hodí i na hodnocení map mentálních. Historická mapa, stejně jako mentální, nevznikala většinou na žádném geometrickém základě, její měřítko je pouze domnělé a bývá deformovaná oproti skutečnosti.

Software ArcGIS bohužel nabízí pouze možnost provedení lineární transformace (roztážení pomocí 2 bodů), která je nedostačující a pak až afinní 6-ti parametrovou transformaci, která již obraz deformuje. Naopak software MapAnalyst, který byl vyvinut pro kartometrickou analýzu historických map, je pro tuto metodu hodnocení velmi vhodný a uživatelsky vstřícný. Hodnotitel musí pouze zvolit dostatečné množství identických bodů, vybrat vhodný druh transformace a nastavit parametry výstupu. Všechny výpočty a grafické výstupy již software provede zcela samostatně.

Mřížka zkreslení a především pak vektory polohových odchylek jsou velmi dobře interpretovatelné. Také izolinie lokálních změn měřítka a orientace mapy jsou velmi užitečnou pomůckou k interpretaci kvality mentální mapy, avšak u izolinií je nutné provést jejich popis v jiném grafickém nebo GIS softwaru. Další nevýhodou této metody je časová náročnost výpočtu při velkém množství identických bodů a vysoké požadované podrobnosti výstupu, především pak na méně výkonných počítačích.

2) Metoda hodnocení polohových odchylek přes identické body u mentálních map s geometrickou referencí

Tato varianta metody hodnocení polohových odchylek na identických bodech počítá s tím, že mentální mapa (popřípadě více mentálních map) a originál mají díky své referenci již stejné měřítko a orientaci. Proto je možné přistoupit rovnou k hodnocení polohových odchylek na odpovídajících si bodech.

Pro testování této metody byla zvolena mentální mapa typu „trasa mezi dvěma body“, konkrétně zakreslená každodenní cesta respondenta z domu do zaměstnání. Respondentovi nebylo předem nic předem předkresleno, avšak za referenční body je zde možné považovat místa označená jako „domov“ a „práce“. Do softwaru ArcGIS byla načtena mentální mapa a příslušné ortofoto zachycující celou potřebnou oblast. Přestože ortofoto nebylo zasazeno do zeměpisných souřadnic (pro tento případ to není nutné), byl jako souřadnicový systém projektu definován S-JTSK, především proto, aby výpočet probíhal ve známých jednotkách (metrech).

Rektifikace mentální mapy na ortofoto byla provedena v extenzi *Georeferencing* pomocí dvou identických bodů, a to místa bydliště a práce. Touto lineární transformací se docílí pouze natočení mentální mapy a její rovnoměrné „roztážení“ na velikost odpovídající ortofotu (obr. 20), čímž se vyřeší problém nestejného měřítka a orientace mezi mentální mapou a originálem. Rektifikovanou mentální mapu je nutné uložit (příkaz *Recify*) jako nový soubor a zvolit vhodnou metodu převzorkování.

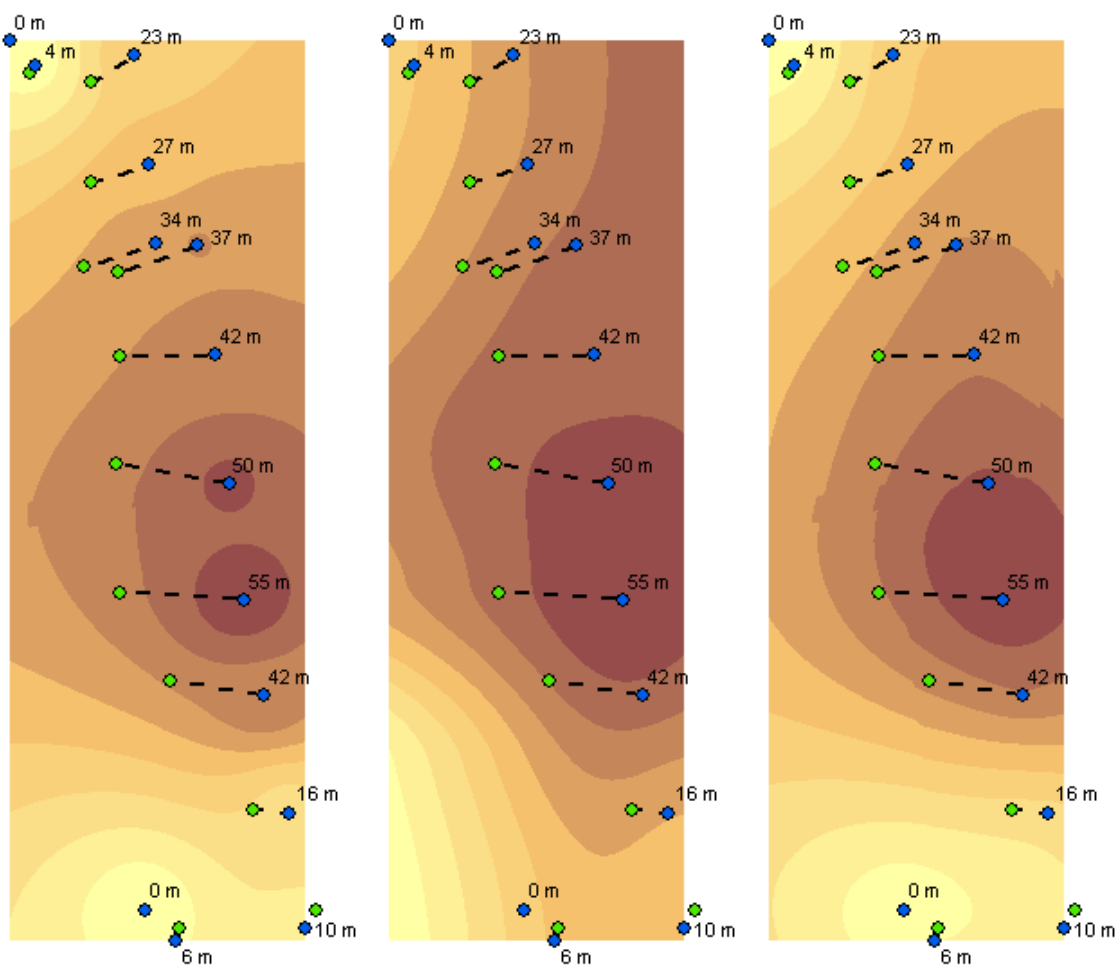


Obr. 20 Ukázka referencované mentální mapy a ortofota (výřez)
Zdroj: vlastní tvorba v software ArcGIS

Dalším úkolem je vektorizace identických bodů, na kterých budou zkoumány odchylky od originálu. V ArcCatalogu je nejprve nutné založit si 2 nové bodové vrstvy (jednu pro body na mentální mapě, druhou pro body na originálu) a následně v ArcMap provést vektorizaci bodů v pevně stanoveném pořadí. Za identické body je vhodné brát především lomové body trasy a křižovatky.

Pro výpočet hodnot absolutních odchylek je možné použít více způsobů. Příkladem je využití funkce *Point Distance*, kde za *Input Features* bude dosazena vrstva bodů na mentální mapě a za *Near Features* vrstva bodů ortofota. Výsledkem bude tabulka vzdáleností každého bodu z jedné vrstvy ke všem bodům z druhé vrstvy. V tomto případě jsou však požadovány pouze vzdálenosti odpovídajících si bodů. Pokud bylo dodrženo jednotné pořadí při vektorizaci, mají odpovídající si body stejný identifikátor (FID) a potřebné vzdálenosti je pak možné z tabulky vyselektovat pomocí sql-příkazu (*Options/Select By Attributes*). Jako podmínku výběru stačí zadat *"input_fid" = "near_fid"*.

Po přiřazení příslušných hodnot odchylek do atributové tabulky identických bodů mentální mapy je pak možné provést vizualizaci výsledků. Kromě samotného znázornění hodnot odchylek nad mentální mapou (popř. originálem) je dobré využít také interpolačních metod, které dopočítají předpokládané odchylky i ve zbylých místech mentální mapy (obr. 21). Metod interpolací je několik, např. metoda vážené vzdálenosti *IDW*, metoda prokládání křivek *Spline* či geostatická metoda *Kriging* (více např. Bravený; Štych; Grill, 2006). Za nejvhodnější interpolační metodu byla v tomto případě zvolena metoda *Kriging*, která využívá váženého průměru okolních hodnot. Nevytváří nepřírozené tvary izolinií a zároveň zachovává hodnoty na identických bodech.



Obr. 21 Interpolace polohových odchylek metodami IDW, Spline a Kriging

Interpolační metoda IDW (vlevo), Spline (uprostřed) a Kriging (vpravo). Zeleně je znázorněn průběh trasy ve skutečnosti, modře na mentální mapě. Hodnoty u jednotlivých bodů značí velikost absolutní polohové odchylky mentální mapy od identického bodu v originále.

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS



Obr. 22 Výsledek metody hodnocení polohových odchylek u MM „cesta do zaměstnání“

Zeleně je znázorněn průběh trasy ve skutečnosti, modře na mentální mapě. Hodnoty u jednotlivých bodů značí velikost absolutní polohové odchylky mentální mapy od identického bodu v originále, které jsou interpolovány metodou Kriging. Podkladem je testovaná mentální mapa. Mapa je o 90° potočena.

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Pro lepší interpretovatelnost výsledku je vhodné podložit výsledný interpolovaný rastr původní mentální mapou (viz obr. 22). Zkoumaná (testovací) mentální mapa by se dala hodnotit za velmi zdařilou, respondent má velmi dobrou představu o relativních vzdálenostech mezi jednotlivými významnými body na trase. Zásadní problém, který způsobil odlišný průběh trasy od jejího skutečného průběhu je neuvědomění si ostroty odbočení na křižovatce v bodě 3 (bod s odchylkou 10 m).

Zhodnocení metody

Výstupy z této hodnotící metody jsou velmi přehledné a dobře se interpretují. Výhodou je, že se mentální mapa transformací na dva identické body nijak nedeformuje. Na druhou stranu je nutné si uvědomit, že nulová chyba na identických bodech způsobuje předpoklad nejvyšší chyby v nejvzdálenějších místech od těchto bodů – tedy uprostřed trasy.

V popisu metody je nastíněn pouze postup pro výpočet absolutních odchylek v poloze bodů od originálu, které však nevypovídají nic o směru chyby. Proto je možné z pozice zvoleného vztažného bodu počítat taktéž odchylky podélné (radiální) a příčné (laterální), jak popisuje např. Peake; Moore (2004).

4.3.5 Metoda bufferu (metoda „najdi v okolí“)

Princip a vstupní data

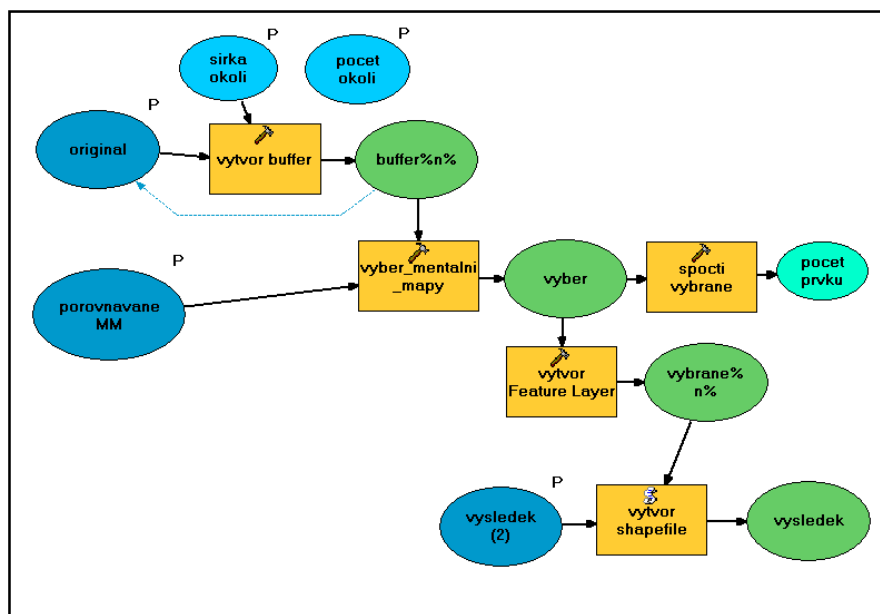
Metoda bufferu (neboli „najdi v okolí“) může porovnat zároveň velikostní, tvarovou i polohovou podobnost mentálních map s originálem. Funguje na principu postupného rozšiřování obalové vrstvy okolo originálu, přičemž pokaždé vybere ty mentální mapy, které do obalové vrstvy celým svým rozsahem spadnou. Výsledkem může být ranking mentálních map dle jejich podobnosti k originálu.

Metodu bufferu je možné použít snad nad všemi druhy mentálních map od obrysových mentálních map až po plány měst (př. cestní síť, umístění významných objektů). Mentální mapy i originál je nutné mít v podobě liniových vrstev (snadno pomocí funkce *Feature To Line*), aby na ně bylo pohlíženo jako na linie a ne jako na polygony. Vstupem může být také množina bodů. Výhodné je, pokud to podstata výzkumu nevylučuje, ztotožnit mentální mapy s originálem nad 1 společný bod (např. sjednotit těžiště všech mentálních map a originálu do jednoho bodu) a pokusit se u nich sjednotit měřítko (viz problematika měřítka v kap. 4.1.4). Tím se vyzdvihne do popředí vliv tvarových nepřesností nad chybným umístěním či rozdílnými velikostmi mentálních map.

Postup

Kolem originálu je vytvořena obalová vrstva (buffer) o definované šířce. Ve druhém kroku se zkoumá, které z mentálních map celé leží v této obalové vrstvě a jsou tedy originálu nejpodobnější. Mentální mapy mohou být menší i větší než originál, proto je nutné vytvořit buffer kolem originálu symetricky na obě strany. Po vybrání mentálních map spadajících do bufferu je vytvořen širší buffer, znovu proveden výběr mentálních map odpovídajících podmínce a celý proces se opakuje, dokud nejsou všechny mentální mapy bufferem „pohlcné“.

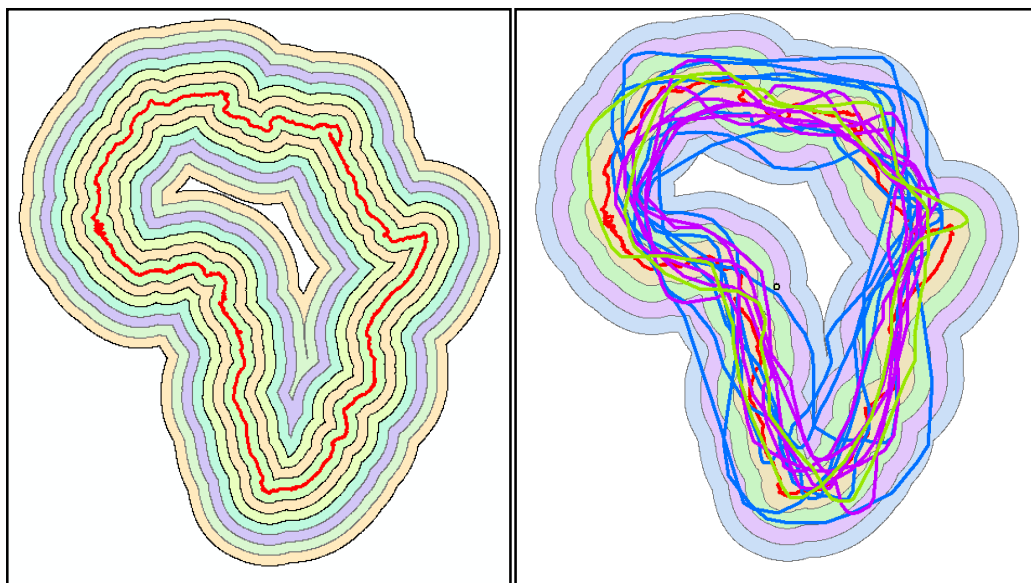
Pro automatizaci této metody nad větším počtem dat byl vytvořen model v *Model Builderu* s názvem „najdi v okolí“ (viz obr. 23). Vstupy zadané uživatelem jsou vrstva obsahující originál (linie), vrstva obsahující porovnávané liniové mentální mapy, parametr šířka okolí (jak velké okolí kolem originálu má být vytvořeno), počet okolí (počet iterací, kolikrát celý cyklus proběhne) a adresář pro ukládání výsledků. Model po zadání vstupních parametrů vytvoří kolem originálu první buffer a z mentálních map vybere ty, které do něj celým svým územím spadají. Pro kontrolu je zde vložen výpočet počtu vybraných prvků. Z vybraných mentálních map je vytvořena nová vrstva, která je následně uložena jako shapefile do zvoleného adresáře. Vytvořený buffer se v dalším průběhu cyklu stane „originálem“, kolem kterého bude vytvořen další buffer atd.



Obr. 23 Model „najdi v okolí“ pro metodu buffer

Zdroj: vlastní tvorba modelu v software ArcGIS

Výsledkem této metody je grafický výstup (viz obr. 24 vpravo) a především pak vytvořené shapefiley obsahující mentální mapy dle spádovosti do jednotlivých bufferů.



Obr. 24 Metoda bufferu

*Vlevo definovaná okolí kolem originálu (červeně),
vpravo ukázka mentálních map, spadající do daných okolí (barevně si odpovídají).*

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Zhodnocení metody

Metoda bufferu je komplexní metodou, která hodnotí zároveň velikost, tvar i polohu mentální mapy. Tato vlastnost je však zároveň i její nevýhodou, jelikož stačí, aby mentální mapa měla špatný jeden ze tří výše zmíněných parametrů a velmi to (buď příznivě, nebo negativně) ovlivní výsledné hodnocení. Např. na zkoumaném případě mentálních map Afriky by mohlo dojít k tomu, že respondent nakreslí mentální mapu Afriky totožnou s originálem, ale umístí ji „na druhý konec světa“. Mentální mapa by tak spadla až do x -tého okolí kolem originálu a byla by tak celkově hodnocena velmi špatně. Naopak pokud by některý z respondentů neměl zdání o tvaru Afriky a nakreslil by ji třeba jako malý čtvereček, který by náhodou umístil do těsné blízkosti obvodu originální Afriky, stane se, že tento výtvar spadne do prvního okolí a bude tak vyhodnocen jako nejlepší.

Do jisté míry se dá výše popsany problém eliminovat pomocí relativního sjednocení měřítka a polohy originálu a všech mentálních map (viz výše). Tím bude mnohem větší význam přikládán tvarovým odchylkám mentálních map, což je většinou podstatou výzkumu.

Metoda bufferu ohodnotí lépe mentální mapu s více drobnými chybami než mentální mapu s jednou velkou nepřesností. Zda je toto výhoda či nevýhoda, je však diskutabilní. Kvalitu výsledků metody bufferu ovlivní také uživatel tím, jak široké zvolí okolí.

4.3.6 Metoda sčítání binárních rastrů

Princip a vstupní data

Metoda sčítání binárních rastrů slouží primárně k hodnocení souboru mentálních map jako celku. Tzn., že není porovnávána každá mentální mapa s originálem zvlášť, ale hodnoceno je celkové vnímání daného jevu skupinou respondentů. Nejčastěji se jedná o vyznačení či umístění

nějaké geograficky významné oblasti, popř. oblastí. Tuto metodu využily také Z. Pilařová a A. Bodnárová při zkoumání způsobů a rychlosti vytváření mentální mapy zahraničních studentů v neznámém prostředí (Pilařová ; Bodnárová, 2008).

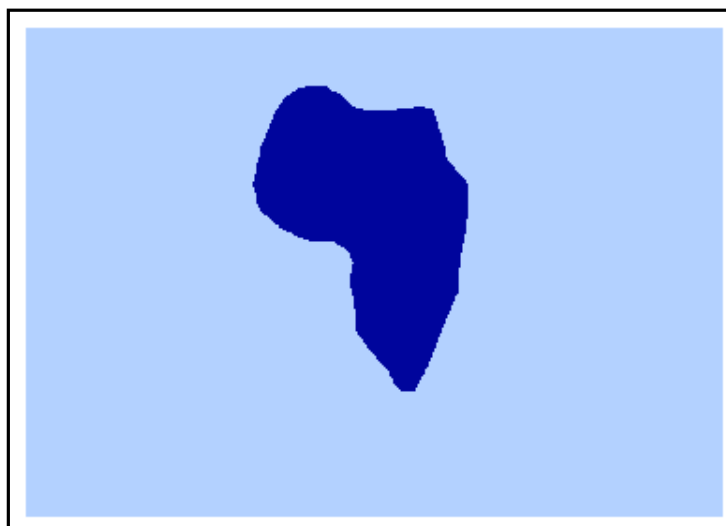
Jak již název metody vypovídá, všechny mentální mapy jsou postupně převedeny na binární rastr a tyto rastry jsou následně sečteny. Výsledkem je jedna agregovaná mentální mapa za všechny respondenty, ze které bude možné vyčíst, kolik respondentů se v tom kterém místě shodlo ve výskytu daného jevu.

Postup

Jak již bylo zmíněno, mentální mapy je nutné konvertovat do rastrové podoby. Samotné konverzi však předchází několik důležitých kroků, bez nichž by metoda nemohla správně fungovat. Prvním krokem, který je nutné udělat, je přidání sloupečku s hodnotou „1“ do atributové tabulky každé mentální mapy. Při sčítání rastrů bude výsledná hodnota získána sečtením právě těchto sloupců.

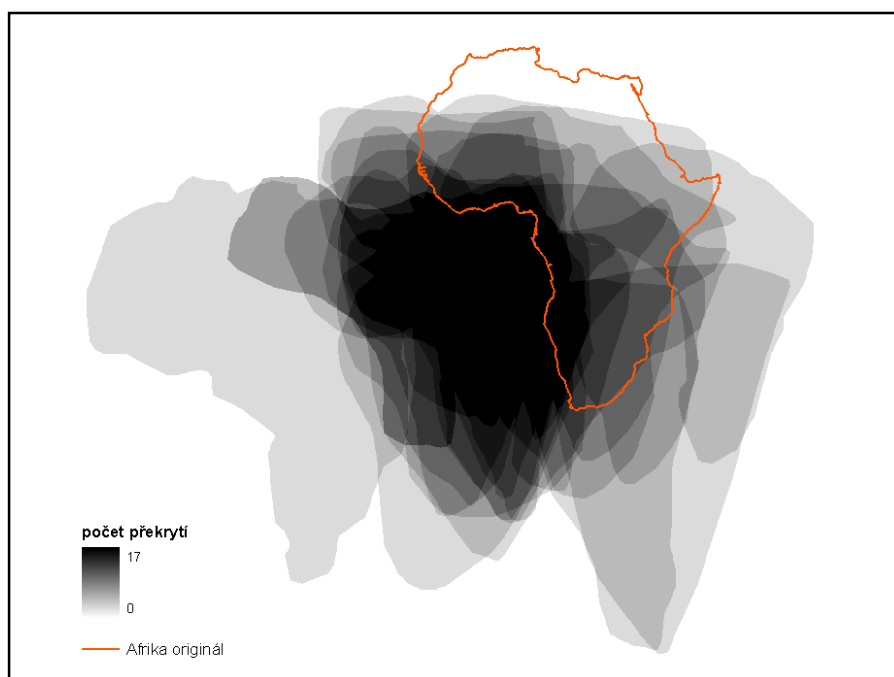
Dalším přípravným krokem je vytvoření umělého polygonu (masky), který svou plochou pokryje celou oblast výskytu mentálních map. Při sčítání rastrů totiž nastává v místech, kde se dané mentální mapy nepřekrývají (nemusí se vlastně překrývat nikde) problém, jelikož v těchto oblastech je výsledkem vždy „null“ hodnota. Přičtením čehokoli k null hodnotě dostaneme opět null hodnotu, což způsobuje problémy. Proto je nutné vytvoření masky, která bude mít v atributové tabulce ve sloupci s odpovídajícím názvem přidaného sloupce mentálním mapám hodnotu „0“, a bude funkcí *Merge* spojená s každou mentální mapou.

Nyní je již možné konvertovat všechny mentální mapy na rastr (*Polygon To Raster*) s vhodně zvolenou velikostí buňky. Takto provedenou konverzí bude dosaženo stejně velkých binárních rastrů s hodnotami „1“ tam, kde se jev vyskytuje a „0“ tam, kde není (obr. 25).



Obr. 25 *Mentální mapa s maskou po konverzi na rastr*
Zdroj: vlastní tvorba v softwaru ArcGIS

Posledním krokem je postupné nasčítání připravených binárních rastrů pomocí funkce *Plus* ze skupiny nástrojů *Spatial Analyst*. Výsledný rastr vytvořený sečtením 22 mentálních map Afriky je na obr. 26.



Obr. 26 Výsledek po aplikaci metody sčítání binárních rastrů
Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Všichni respondenti umístili Afriku do relativně blízké vzdálenosti od její skutečné polohy, většina z nich se s originálem alespoň částečně překrývá. Z výsledků však vyplývá, že všechny mentální mapy byly umístěny jižněji, než se Afrika ve skutečnosti nachází. Vysvětlením může být naddimenzování rozlohy Evropy, ve které všichni respondenti žijí a s tím související posun ostatních kontinentů. Další příčinou by mohla být mylná představa, že se africký kontinent nachází celý na jižní polokouli.

Celý postup metody byl automatizován pomocí skriptu pro příkazový řádek (viz příloha). *Model Builder* zde nemohl být použit, jelikož neumožňuje postupně přičítat jednotlivé rastry obsažené v jedné vrstvě. Bylo by tedy nutné pro každou mentální mapu volit vlastní nastavení, což by bylo pro větší množství dat časově náročné.

Zhodnocení metody

Aplikace metody sčítání binárních rastrů je s využitím přiloženého skriptu (po jeho úpravě pro konkrétní data) relativně snadná, avšak výpočet je především ve fázích počítání s rastry časově náročný. Nevýhodou této metody je nutnost konverze polygonů na rastry a tím i částečná ztráta tvarové informace (avšak pokud se zvolí dostatečně malá velikost pixelu, je tato ztráta informace zanedbatelná). Naopak velkou výhodou je výsledek v podobě jednoho obrázku (součtový rastr) představující agregaci všech mentálních map, který je dobře interpretovatelný. Překrytím mentálních map přes sebe se zvýrazní chyby.

4.4 Hodnocení relativní přesnosti (vzájemných prostorových vazeb mezi prvky)

Při hodnocení mentálních map není zkoumána vždy pouze absolutní přesnost v umístění zakreslených prvků, ale hodnotitele může taktéž zajímat, jak dotazovaný vnímá vzájemné prostorové vazby mezi prvky. Jinými slovy sleduje, zda si respondent uvědomuje vzájemnou pozici (ve smyslu vpravo od, vlevo od, před, za, mezi apod.) mezi jednotlivými objekty v mentální mapě.

Pro hodnocení relativní přesnosti byly navrženy dvě metody, jejichž společnou předností je jejich **nezávislost na měřítku, posunu a orientaci mentální mapy**. Metodu hodnocení přes délky a úhly je vhodné použít v případě, kdy existuje jeden bod (tj. vztažný bod), který je vůči ostatním zkoumaným prvkům v dominantním postavení. Pokud jsou důležité vazby „každý s každým“, je lepší použít druhou metodu hodnocení.

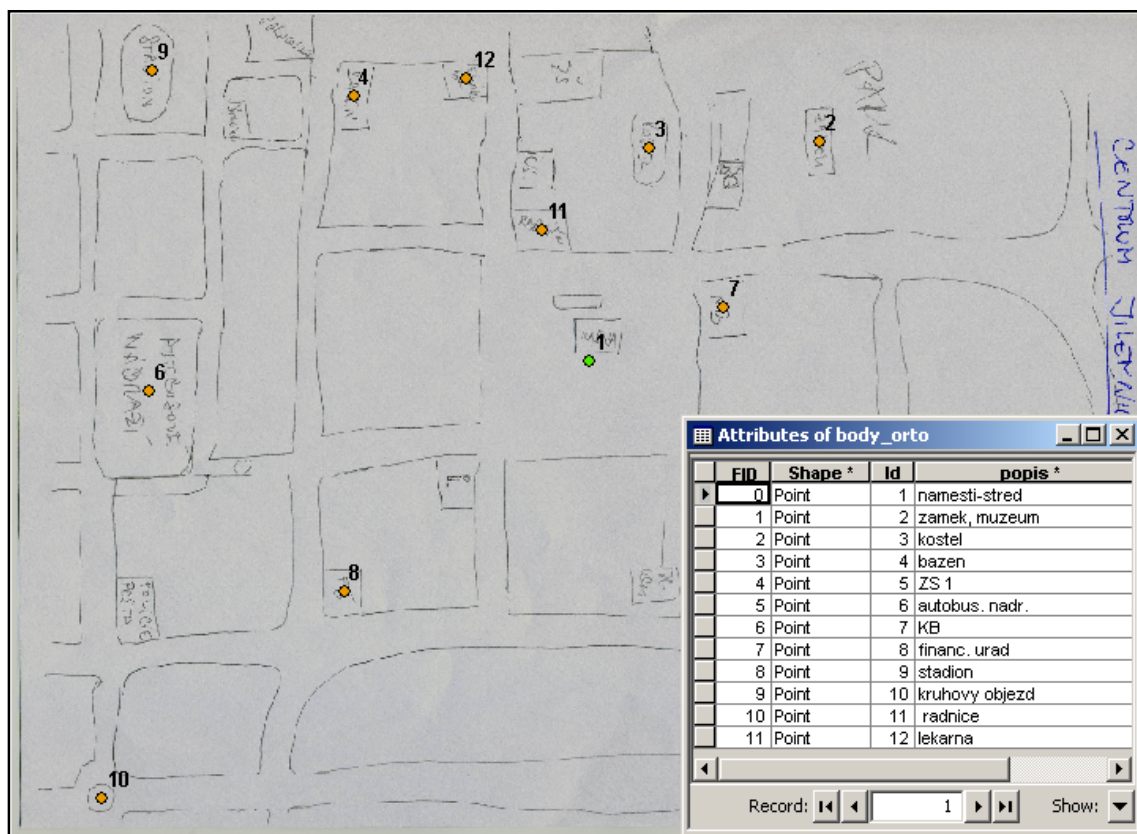
4.4.1 Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes délky a úhly

Princip a vstupní data

První navržená metoda zkoumá relativní přesnost mezi zvoleným vztažným bodem (např. náměstí, výchozí místo trasy apod.) a ostatními zakreslenými objekty. Princip metody spočívá v tom, že pořadí všech zakreslených prvků z hlediska vzdálenosti od vztažného bodu a úhlu od zvolené polopřímky vycházející ze vztažného bodu by mělo být vždy stejné. Vstupem pro tuto metodu je bodová vrstva představující zkoumané objekty a vztažný bod.

Postup

Prvním a velmi důležitým krokem je správná vektorizace objektů v mentální mapě a originále do podoby bodové vrstvy. Umístění bodů je nutné volit jednotně pro všechny mentální mapy (např. u budovy umístit bod vždy do jejího středu) a především identickým bodům přiřadit ve všech mapách stejný identifikační kód (ID). Není podmínkou, že každá mentální mapa musí obsahovat celý výčet zkoumaných bodů určených v originále (např. na obr. 27 respondent nezakreslil objekt ID = 5), je však důležité dodržovat správná ID objektů. Dále je třeba vytvořit samostatnou vrstvu obsahující jeden zvolený objekt (bod), ke kterému bude hodnocení vztaženo.

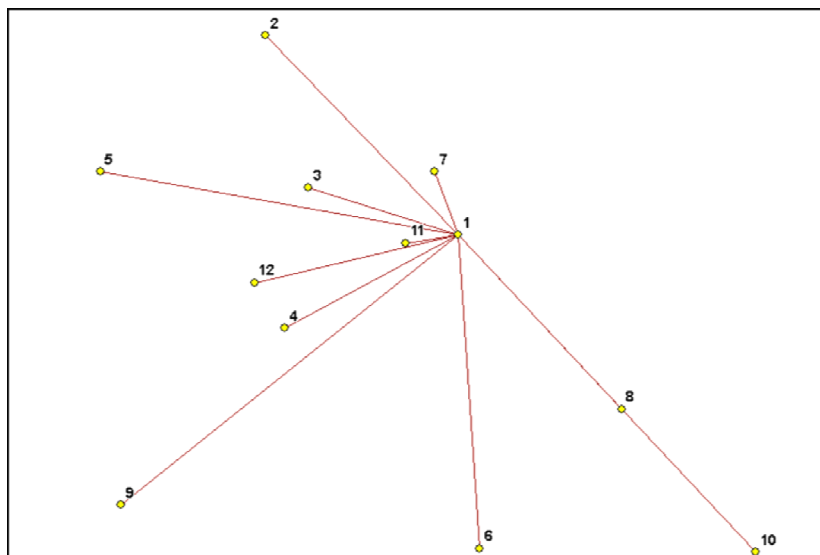


Obr. 27 Bodová vrstva zkoumaných objektů s přiřazeným ID

Zdroj: vlastní tvorba v software ArcGIS

Nyní je možné přistoupit ke spočtení úhlů a vzdáleností mezi vztažným bodem a ostatními zkoumanými body. K výpočtu je možné využít funkce *Near* z nabídky *Analysis Tools*, která obecně počítá vzdálenost od každého bodu z vrstvy „input“ k nejbližšímu bodu či linii z vrstvy „near“. Pokud tedy bude za „input“ dosazena bodová vrstva s hodnocenými objekty a do pole „near“ vrstva obsahující vztažný bod, výsledkem bude výčet vzdáleností od všech prvků ke vztažnému bodu. Pokud bude navíc v dialogovém okně zaškrtnuta možnost „angle“, algoritmus vrátí i hodnoty úhlů, pod kterými byla daná vzdálenost počítána. Vypočtené hodnoty úhlů a vzdáleností se automaticky uloží do atributové tabulky vstupní vrstvy.

Následuje vytvoření dvou nových sloupců (jeden pro délky, druhý pro úhly), které budou obsahovat pořadí vzestupně (či sestupně) uspořádaných hodnot. K tomu je možné využít příkazu „sort“ u příslušného sloupce atributové tabulky. Posledním krokem je porovnání takto určených pořadí zakreslených prvků v mentální mapě a v originále s pomocí propojení atributových tabulek příslušných map. Z ukázky takové tabulky (tab. 2) vyplývá, že respondent chybně zakreslil bazén dále od náměstí, než lékárnu, zámek a finanční úřad. Pokud by byly hodnoty seřazeny dle velikostí úhlů, odhalila by se pouze chyba v záměně pořadí mezi finančním úřadem a kruhovým objezdem. Při pohledu na rozmístění zkoumaných bodů v originále (obr. 28) je však patrné, že oba zmíněné objekty (ID 8 a 10) leží vzhledem k náměstí téměř v přímce, tudíž výskyt chyby je v tomto případě velmi pravděpodobný.



Obr. 28 Bodová vrstva originálu

Zdroj: vlastní vektorizace v software ArcGIS

Attributes of body_pokus_orto						
ID	popis	rank dist orig	rank dist MM	rank angle orig	rank angle MM	
11	radnice	1	1	5	4	
7	KB	2	2	1	1	
3	kostel	3	3	3	3	
4	bazen	4	7	7	6	
12	lekarna	5	4	6	5	
8	financ. urad	6	6	10	10	
2	zamek, muzeum	7	5	2	2	
6	autobus. naddr.	8	8	9	8	
5	ZS 1	9	<Null>	4	<Null>	
9	stadion	10	9	8	7	
10	kruhovy objezd	11	10	11	9	

Tab. 2 Výsledná atributová tabulka

Zdroj: vlastní výpočet v software ArcGIS

Zhodnocení metody

Výhodou této metody je její jednoduchost a univerzálnost. Při hodnocení nezáleží na měřítku ani poloze mentální mapy vzhledem k originálu. Dokonce, pokud bude vhodně zvolena poloosa, od níž je počítán úhel (např. ve směru spojnice vztažného bodu k některému z hodnocených bodů), nebude záležet ani na orientaci mentální mapy.

Potíže mohou nastat v případě, kdy jsou některé z hodnocených objektů ve stejném směru, popř. ve stejné vzdálenosti od vztažného bodu (viz výše uvedený příklad). V takové situaci je pravděpodobnost, že objekty budou zakresleny chybně, velmi vysoká. Tento problém by bylo možné omezit sjednocením objektů s podobnými hodnotami vzdáleností (resp. úhlů) do intervalu, uvnitř kterého by nezáleželo na pořadí, avšak všechny objekty z intervalu by ve výsledku musely následovat bezprostředně za sebou.

Nevýhodou metody využívající měření délek a úhlů je velmi nízká automatizace postupu hodnocení.

4.4.2 Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojnic

Princip a vstupní data

Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojnic hodnotí (na rozdíl od předchozí metody) vztahy mezi prvky v celkovém pohledu. Princip spočívá ve vytvoření sítě spojnic objektů „každý s každým“, která by měla být ve všech případech totožná. Tzn., pokud mentální mapa obsahuje ty samé objekty jako originál, měla by být ve správném výsledku všechna křížení spojnic jako v originále a zároveň by neměla vzniknout žádná nová. Vstupními daty jsou bodové vrstvy vytvořené vektorizací totožných objektů v mentální mapě a originále.

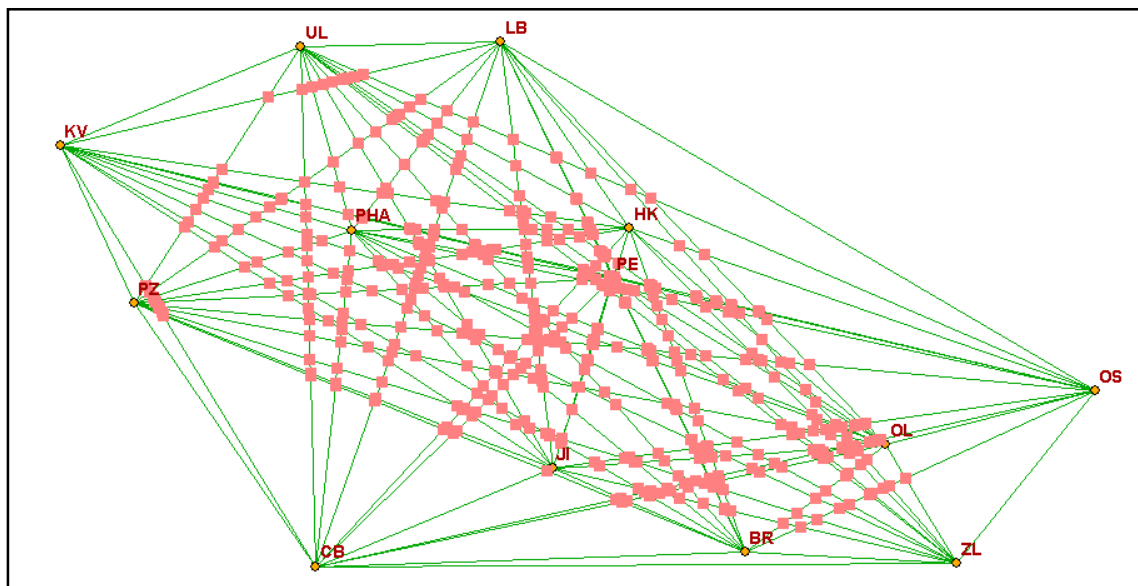
Postup

Pokud nejsou mentální mapy ve vektorovém formátu, je stejně jako v předchozí metodě prvním krokem vektorizace bodové vrstvy zájmových objektů. I v tomto případě je nutné vytvoření identifikátoru (atributu ID), který bude jedinečný pro každý bod v rámci jedné mentální mapy a zároveň bude identický pro konkrétní objekt ve všech mentálních mapách i v originále. To pomůže v budoucnu identifikovat průsečíky spojnic těchto bodů.

Nad vstupními bodovými vrstvami všech mentálních map i originálu je nejprve třeba vytvořit síť spojnic „každý s každým“. Pro vykreslování úseček nad zadanou vrstvou bodů nebyl v software ArcGIS nalezen žádný vhodný nástroj, proto byl pro tento krok využit software Matlab, který umožňuje pracovat s daty ve formátu shapefile (*.shp). V Matlabu byla s využitím integrované nápovědy vytvořena funkce, která po zadání vstupního a výstupního souboru ve formátu shapefile vytvoří a uloží požadovanou vrstvu spojnic „každý s každým“ (zeleně na obr. 29). Důležité je správné nastavení atributu ID, který bude přiřazen každé spojnici na základě ID bodů, které spojuje. K tomu, aby byla krajní města spojnice zaznamenána vždy ve stejném pořadí, byla využita volně stažitelná funkce *lexcmp.m* (Petschel, 2009), která slouží k porovnávání dvou řetězců.

Dále byl hledán nástroj, který by dokázal nalézt požadované průsečíky spojnic a tyto uložit jako novou vrstvu. Bohužel však ani jediný vhodně se jevící nástroj *Intersect* z nabídky *Analysis Tools* nemohl být použit, jelikož dokáže nalézt průsečíky pouze mezi dvěma různými vrstvami, nikoli však nad daty uloženými v jedné vrstvě. Pro použití nástroje *Intersect* by tedy bylo nutné uložit každou spojnici jako samostatnou vrstvu a následně vyvolat tento nástroj pro každou dvojici spojnic zvlášť, což by při větším počtu vstupních bodů bylo velmi časově náročné.

Další testovanou možností, jak detekovat křížení spojnic, bylo využití topologie. Pokud je bodová vrstva uložena v databázi ve *Feature Dataset*, nabízí se zde možnost vytvoření topologických pravidel, která by měla data uložená v příslušných vrstvách splňovat. Primárně tedy topologie slouží k detekci a následnému odstranění chyb vzniklých např. špatnou vektorizací apod. V tomto případě bylo nastaveno topologické pravidlo ve tvaru: „linie ze vstupní vrstvy se nesmějí protínat s žádnými jinými liniemi z téže vrstvy“. Výsledkem je označení míst, která tuto podmínku nesplňují, což zároveň odpovídá požadovaným průsečíkům spojnic všech bodů (viz obr. 29).



Obr. 29 Vygenerovaná síť spojnic „každý s každým“ s vyznačenými průsečíky

Zdroj: vlastní výpočet v software Matlab a ArcGIS

Z takto označených průsečíků by nyní bylo třeba vytvořit novou bodovou vrstvu, která by sloužila jako vzor pro stejným způsobem vzniklé bodové vrstvy průsečíků mentálních map. Export označených míst nevyhovujících topologickým pravidlům, a dokonce ani tabulky chyb (viz tab. 3) však software ArcGIS neumožňuje, tudíž se využití topologie stává slepou uličkou.

Error Inspector						
Show: spojnice - Must Not Intersect				505 errors		
Search Now				<input checked="" type="checkbox"/> Errors	<input type="checkbox"/> Exceptions	<input checked="" type="checkbox"/> Visible Extent only
Rule Type	Class 1	Class 2	Shape	Feature 1	Feature 2	Exception
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	27	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	28	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	29	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	37	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	38	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	54	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	55	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	56	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	57	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	60	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	61	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	62	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	63	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	65	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	66	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	67	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	68	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	69	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	70	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	71	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	1	72	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	2	21	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	2	22	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	2	23	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	2	40	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	2	41	False
Must Not Intersect	spojnice		Point	2	42	False

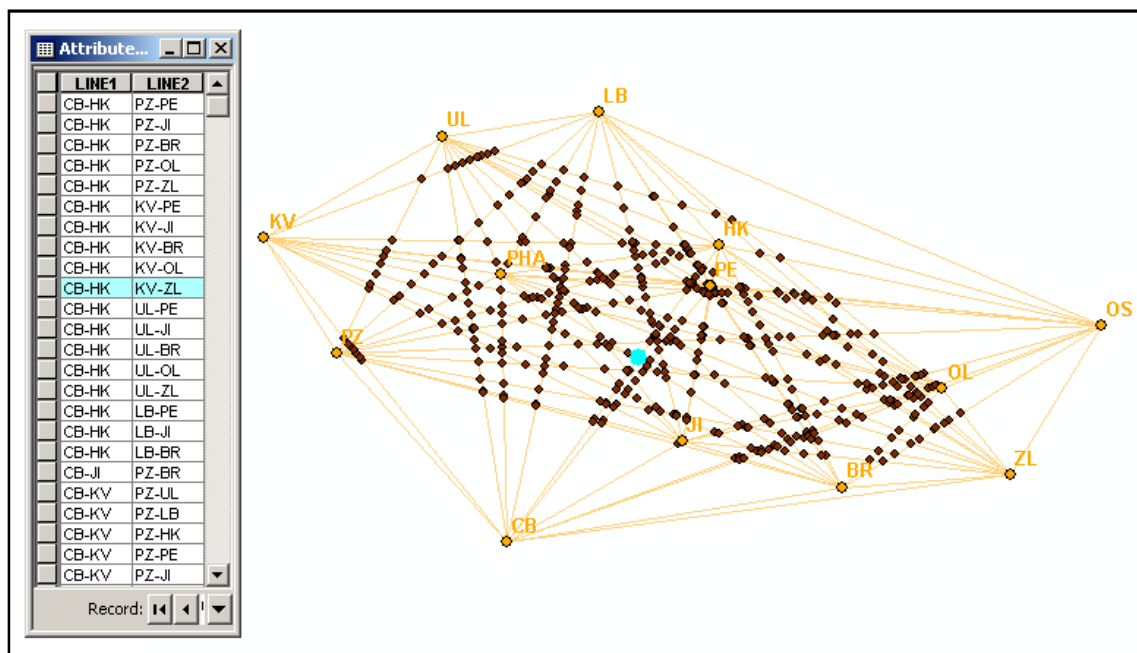
Tab. 3 Ukázka tabulky chyb dle topologických pravidel (část)

Zdroj: vlastní tvorba v software ArcGIS

Jelikož možnosti ArcGIS jsou v hledání průsečíků omezené, bylo nutné pro dosažení výsledků této metody využít opět software Matlab, ve kterém byly průsečíky všech úseků vypočteny pomocí analytické geometrie.

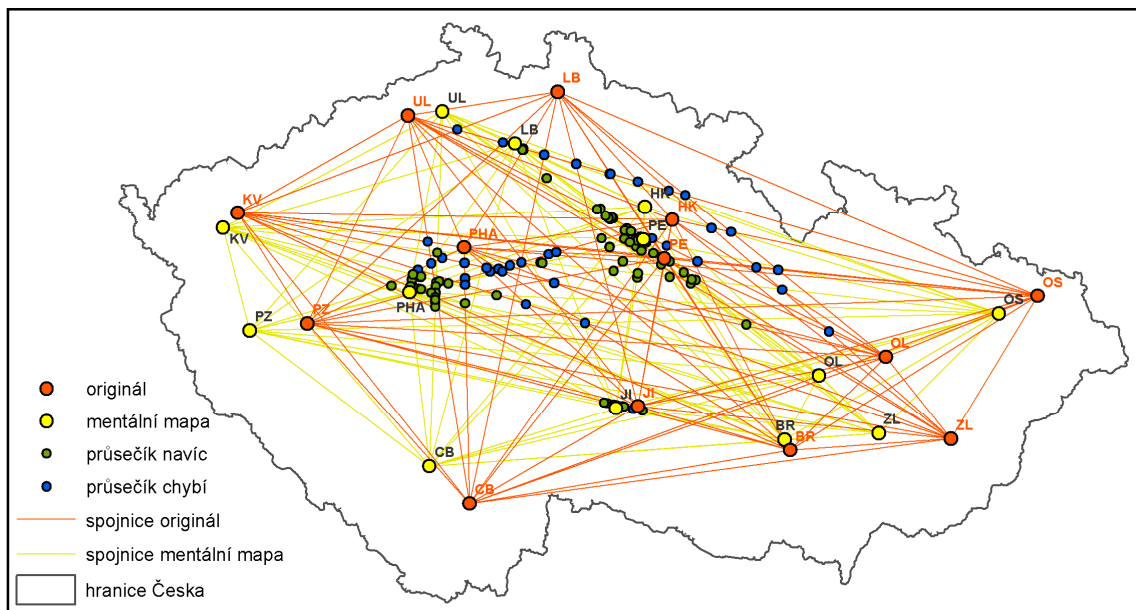
Došlo tedy k rozšíření výše zmíněného skriptu, vytvářejícího spojnice každý s každým nad zadanou sítí bodů, o výpočet všech existujících průsečíků těchto spojníc (kromě protínání v krajních bodech). Výpočet vychází z parametrické rovnice přímky $y = kx + q$, a základních vzorců pro výpočet průsečíků dvou přímek známých z učebnic analytické geometrie (např. Bartsch, 1983)

Skript je složen ze tří částí (samostatných souborů). Soubor *spust_zde.m*, do kterého je třeba zadat vstupní data ve formátu (*vstupní_bodová_vrstva.shp*, *název_vrstvy_spojníc.shp*, *název_vrstvy_průsečíků.shp*), slouží pro spuštění celého procesu. Tím se automaticky vyvolá funkce *spocti_pruseciky.m*, která vypočítá spojnice bodů každý s každým a vytvoří z nich shapefile. Dále zavolá funkci *prusecik.m*, která vrátí souřadnice všech existujících průsečíků. Z nich je nakonec vytvořen výsledný shapefile s požadovanými atributy (viz obr. 30). Celý skript, včetně popisu jednotlivých kroků, je v příloze a taktéž v digitální formě na přiloženém CD-ROM.



Obr. 30 Průsečíky všech spojníc s ukázkou atributové tabulky
vlastní výpočet v software Matlab, vizualizace v software ArcGIS

Posledním krokem je porovnání průsečíků vypočtených v mentální mapě s průsečíky zobrazenými v originále. K tomu poslouží atributové tabulky příslušných vrstev. Pomocí propojování atributových tabulek lze zjistit, jaké průsečíky v mentální mapě oproti originálu chybějí a naopak které jsou „navíc“. Příklad takto analyzované mentální mapy je na obr. 31.



Obr. 31 Výsledek metody hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojníc

Zdroj: Vlastní tvorba v software ArcGIS

Při vyhodnocování výsledného obrázku (mapy) je třeba sledovat, na jakých spojnících se chybné (tedy chybějící či přebývající) body nacházejí. Např. na obr. 31 je řada chybějících průsečíků (modrá barva) na spojnici OS-UL. Při bližším prozkoumání je zřejmé, že tyto průsečíky nemohly vzniknout kvůli chybnému umístění Liberce (LB) vůči spojnici Ostravy s Ústím nad Labem v mentální mapě. Liberec byl umístěn jižněji od této spojnice, přestože ve skutečnosti leží severněji. Podobně je tomu v případě polohy Prahy (PHA) od spojnice Hradec Králové – Plzeň (HK-PZ). Chybějící průsečíky často indikují v jiných místech vznik průsečíků navíc.

Zhodnocení metody

Díky přiloženému skriptu pro software Matlab je tato metoda hodnocení relativní přesnosti velmi rychlá a zcela automatizovaná. Navíc je možné provést výpočet průsečíků pro všechny mentální mapy i originál najednou. Velkou výhodou této metody je její nezávislost na měřítku, orientaci a poloze mentální mapy vzhledem k originálu. Důležité je jen zachování správného označení identických bodů (viz výše).

Nevýhodou této metody je rychlý nárůst výpočetní složitosti s každým přibývajícím bodem. Také čas potřebný na interpretaci výsledného obrázku (mapy) je s přibývajícím počtem bodů delší. Drobným úskalím této metody je fakt, že zrcadlově nakreslená mapa bude ohodnocena jako správná. Pravděpodobnost, že by někdo nakreslil mentální mapu zcela zrcadlově, je však velmi nízká.

4.5 GIS pro vizualizaci výsledků jiných metod

Existuje mnoho metod, kde se zapojení GIS softwaru do analýzy časově nevyplatí a hodnotitel mentálních map si vystačí například jen s obyčejným textovým či tabulkovým editorem. Výsledkem takových metod jsou většinou rozsáhlé tabulky plné čísel, popřípadě grafy. Pokud

však mají výsledné hodnoty i prostorový význam, je velmi vhodné vizualizovat je do podoby přehledné mapy, která je mnohem názornější než samotná tabulka. A právě pro tvorbu mapových výstupů, popřípadě další doplňkové analýzy, je nasnadě využít GIS software.

Software ArcGIS má široké možnosti ve vizualizaci výsledků různých metod hodnocení. Disponuje velmi rozsáhlým a uživatelsky vstřícným prostředím pro tvorbu mapových výstupů. Umožňuje klasifikaci či selekci dat dle zadaných parametrů, automatické vytvoření legendy, měřítka, a dalších kompozičních prvků, jejich ruční editaci a samozřejmě export do různých formátů. Více o tvorbě mapových výstupů např. Bláha (2008).

4.5.1 Vizualizace pořadí zakreslených prvků

Princip a vstupní data

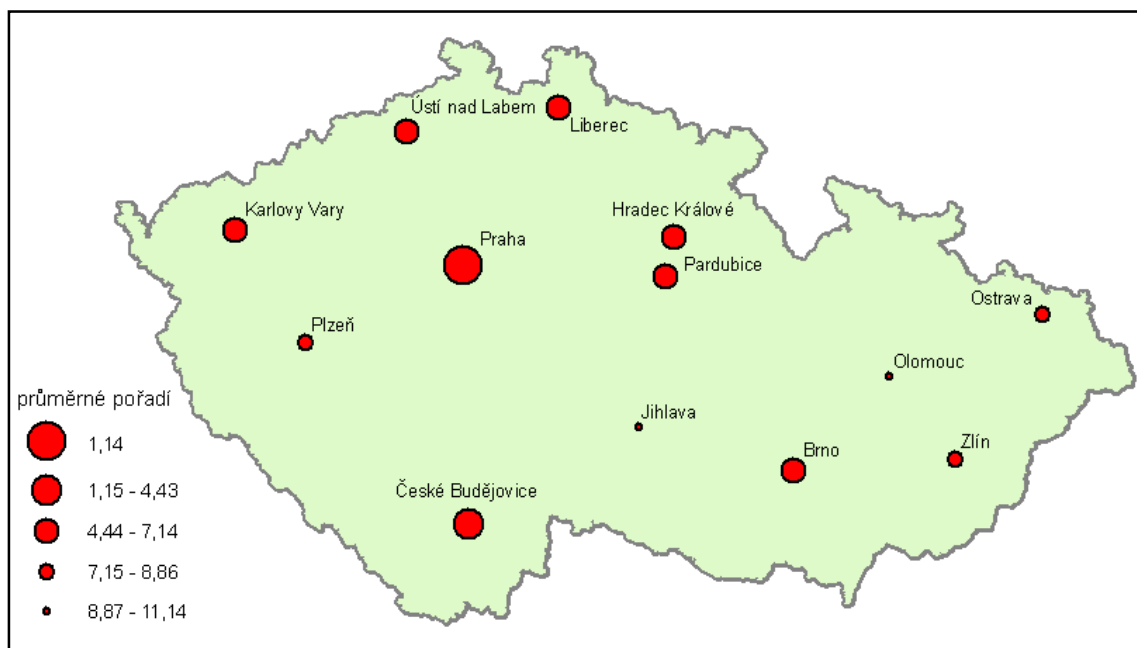
Nejen z psychologického hlediska, ale např. i pro urbanismus, může mít na celkové vyhodnocení mentální mapy vliv také pořadí, v jakém respondent zakresloval jednotlivé objekty (Lynch, 2004). Podle autorčina názoru obecně platí, že nejprve začne dotazovaný kreslit ty prvky, které pokládá z hlediska důležitosti za nejvýznamnější a k nim pak vztahuje zbylé objekty. Např. v případě plánu města může respondent nejprve zakreslit náměstí, které považuje za dominantu města (což se potvrdilo i při vzniku mentálních map centra Jilemnice v této práci), a od něj pak postupovat ve směrech ulic z něj vycházejících a tím svou mapu rozšiřovat. Jiný respondent však může začít kreslit svou mapu zcela odlišně, např. místem, kudy nejčastěji vchází do centra, místem svého bydliště, sídlem své práce apod. Vyskytují se i případy, kdy jedinec začne obrysem oblasti nebo základní kostrou a tu následně doplňuje podrobnostmi. Lynch (2004) poukazuje na to, že vliv na sekvenci jednotlivých objektů v mentální mapě má to, jak se jedinec od začátku s prostředím seznamuje.

Postup

Při tvorbě mentální mapy je důležité zaznamenat pořadí jednotlivých částí, ve kterém je respondent zakresloval. Pokud by byla mentální mapa vytvářena přímo v GIS prostředí, je možné zaznamenávat sekvenci zakreslených prvků automaticky. Minimálně v rámci jedné vrstvy jsou jednotlivým objektům v atributové tabulce automaticky přiřazovány identické kódy (*FID*), které se zvyšují v závislosti na pořadí, v jakém byly objekty zaznamenány. Po zkopírování tohoto sloupce do nově vytvořeného je možné s těmito hodnotami dále počítat. Avšak podrobnost snímání pořadí pro jednotlivé objekty je ve většině případů nadbytečná, často postačí sekvence zakreslení jednotlivých významných celků (městských čtvrtí, bloků budov apod.)

Pokud je mentální mapa kreslená na papír a není ji pro další vyhodnocování nutné převádět do vektorové podoby, vyplatí se vytvořit si tabulku pořadí zakreslení jednotlivých prvků v tabulkovém editoru a do GIS již vložit jako atributy celkové sumy pořadí každého objektu (resp. oblasti) za všechny mentální mapy. Vhodné je dále vydělit celkovou sumu pořadí počtem respondentů, čímž se dosáhne průměrného pořadí zakreslení daného objektu (celku).

Z výše uvedeného vyplývá, že nejdříve byly zakresleny objekty s nejnižšími součty pořadí a naopak jako poslední ty, kde je suma nejvyšší. Pokud je zkoumáno pořadí zakreslení diskretních bodů (např. pořadí zakreslení krajských měst Česka), je možné přenést výslednou hodnotu na plochu celého kraje (areálu) a pro vizualizaci použít areálovou metodu. Jinou možností je vyinterpolovat hodnoty mezi diskretními body (což je ale na výše zmíněném případě krajských měst nesmyslné) a ke znázornění použít metodu izolinií. Poslední možností je hodnotově odstupňovat přímo znaky diskretních bodů (např. změnou velikosti znaku) a vytvořit tak bodově lokalizovaný kartodiagram (Voženílek, 2004). Příklad kartodiagramu zobrazujícího průměrné pořadí zakreslení jednotlivých krajských měst Česka, který odpovídá průměru vypočtenému z mentálních map od sedmi respondentů je na obr. 32.



Obr. 32 Pořadí zakreslení krajských měst v mentální mapě

Hodnota odpovídá aritmetickému průměru pořadí vypočteného z mentálních map od 7 respondentů

Zdroj: vlastní výpočet a vizualizace v software ArcGIS

Zhodnocení metody

Na metodě znázornění pořadí zakreslených prvků je asi nejtěžším krokem definice oblastí (objektů), jejichž pořadí se bude zaznamenávat. Samotná vizualizace naměřených hodnot je již díky možnostem software ArcGIS v oblasti tvorby mapových výstupů poměrně snadná. Důležité je správné zvolení metody vizualizace (bodově lokalizovaný diagram, areálová metoda atd.) a hodnotové stupnice v závislosti na charakteru dat (více např. Voženílek, 2004).

4.5.2 Vizualizace výběru a četností zakreslených prvků

Princip a vstupní data

Často sledovaným cílem při výzkumu s mentálními mapami bývá výběr prvků, které respondent zakreslí do své mapy a s tím související četnost konkrétního zakresleného prvku na mapách od všech respondentů. Touto problematikou se ve své práci zabývala např. Kynčlová (2008),

kteřá sledovala výběr významných bodů, které volí závodníci v orientačním běhu pro svou orientaci v terénu. Podobný problém avšak se zcela odlišnou tematikou řešili Siwek a Kaňok (2000), kteří zkoumali vědomí slezské identity. Zjišťovali, jaké obce Slezané označí za spadající do historického regionu Slezsko.

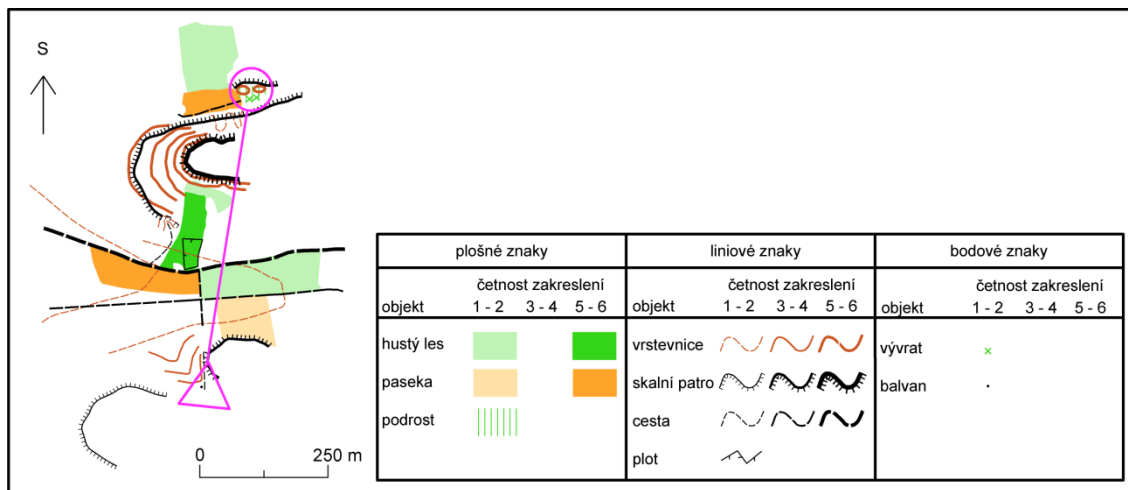
Rozdíl v obou zmíněných výzkumech spočíval v předloze, která byla respondentům nabídnuta. Siwek a Kaňok předložili respondentům mapu širšího okolí s vyznačenými hranicemi obcí, do které dotazovaní pouze zakreslili hranici historické části Slezska. Ve výzkumu Kynčlové museli respondenti kreslit své mentální mapy na čistý papír. Přibyl zde tak problém s rozpoznáváním a identifikací zakreslených prvků.

Postup

Prvním krokem je zjištění četností zakreslení jednotlivých prvků. Náročnost tohoto úkolu se odvíjí od technického provedení každého výzkumu. Pokud všechny mentální mapy vznikaly již přímo v GIS softwaru na základě jedné předlohy (tzn. respondent pouze „vybíral“ prvky splňující určitou charakteristiku z předem definované množiny prvků), je možné provést výpočet četností přímo v GIS. Většinou však respondenti zakreslují svou mentální mapu na papír a často nemají ani žádnou předlohu. Vektorizace jednotlivých map by tak vyžadovala i přiřazování speciálního kódu pro každý prvek, proto by byla velmi zdlouhavá a v mnoha případech, kdy je požadována pouze agregovaná mentální mapa, by se stala zbytečným krokem. Proto se často k vypočtení četností používá pouze tabulkového či jiného editoru, nebo se počítají „ručně“. Absolutní hodnoty četností bývají většinou ještě přepočteny na relativní hodnoty představující procento respondentů, kteří zakreslili daný prvek.

Dalším krokem je rozdělení hodnot na intervaly podle vhodně zvolené hodnotové stupnice (více o hodnotových stupnicích např. Siwek; Kaňok (2000)) a následná vizualizace. V případě mentální mapy Slezska byly relativní hodnoty představující procento respondentů, kteří přiřadili danou obec k historickému Slezsku, rozděleny pomocí nepravidelné intervalové stupnice sedlového typu na několik kategorií a tyto následně vizualizovány formou pseudokartogramu (Siwek; Kaňok, 2000).

Kynčlová (2008) četnosti zakreslení jednotlivých prvků agregovala dle věkových skupin respondentů a hodnoty rozdělila do pravidelných intervalů. Pro každý interval byla následně navržena varianta znaku příslušného objektu. Bodové znaky byly odstupňovány změnou velikosti, liniové znaky tloušťkou čáry a plošné znaky intenzitou barvy. Výsledkem byla agregovaná tematická mapa za každou věkovou skupinu respondentů (obr. 33).



Obr. 33 Příklad znázornění četností v agregované mentální mapě

Zdroj: Kynčlová (2008), upraveno

Zhodnocení metody

Mapový výstup v podobě agregované mentální mapy podává mnohem lepší informaci o četnostech zakreslení jednotlivých prvků, než tabulka obsahující stejná data. V případě, že je výstupem tematická mapa oddělující četnosti prvků kvantitativním odstupňováním plošných, liniových a bodových znaků, je zde poměrně náročný úkol vytvoření vhodného znakového klíče. Ten však může být společný pro více agregovaných mentálních map, čímž se dosáhne nejen přehledného zobrazení jevu v jedné agregované mapě, ale navíc je možné mapy snadno vzájemně porovnávat.

5 DISKUZE

V této části práce je prostor pro diskusi nad představenými metodami hodnocení mentálních map, jejich výhodami, nevýhodami a možnostmi využití v praxi. Dále je zde diskutována vhodnost využití GIS v této problematice obecně.

5.1 Zhodnocení navržených metod hodnocení mentálních map

Výsledkem této práce je ucelený soubor metod uspořádaný dle jejich využití do tří kategorií: metody pro hodnocení tvarové a polohové přesnosti mentálních map, metody pro hodnocení relativní přesnosti mentálních map a metody, kde GIS slouží pouze pro vizualizaci externě (mimo GIS) dosažených výsledků.

5.1.1 Zhodnocení metod hodnocení tvarové a polohové přesnosti

Nejpočetnější skupinou jsou metody, pomocí nichž je možné hodnotit chyby v umístění, tvaru a popřípadě i orientaci mentální mapy. Jako první byly popsány **jednoduché metody hodnocení** zaměřující se na obecné charakteristiky mentálních map, jako je jejich velikost (plocha, délka obvodové linie) a umístění (vzdálenost od originálu). Pro tyto metody neplatí žádné omezení na vstupní data ani na jejich počet. Příkladem využití může být obecná charakteristika mentální mapy vzhledem k originálu, která by říkala, jak respondent odhadl velikost či lokalizaci (popř. obojí) zakresleného území. Výsledky získané těmito metodami však mohou být značně zkreslené, jelikož nezohledňují tvar mentální mapy. Výhodou je snadnost výpočtu.

Další navrženou metodou, užitečnou především pro mentální mapy typu „obrys oblasti“, bylo **převedení obrysu na funkci**, a to buď přes směrovou růžici, přes rozložení na lomové body linie (vrcholy polygonu), nebo přes rozložení na pevný počet rovnoměrně rozmístěných bodů. Všechny tři varianty poskytují možnost grafického výstupu v podobě grafu funkcí, který lze velmi snadno interpretovat a vyvozovat z něj závěry.

Společnou výhodou je také možnost eliminace vlivu orientace a nestejného měřítka při hodnocení tvarových odchylek mentálních map. Rozdílnou orientaci lze odstranit buď rotací mapy ještě před jejím vyhodnocením, nebo posunutím funkce v grafu ve směru osy x , u metod využívajících rozložení na body pak volbou počátečního bodu vektorizace. Měřítko mentálních map je možné sjednotit posouváním funkcí v grafu ve směru osy y .

V případě metody převodu obrysu na funkci přes směrovou růžici a metody využívající rozložení na daný počet bodů je navíc možné sestavit agregovanou mentální mapu zobrazující průměrný výsledek celého souboru respondentů a graf relativních odchylek mentálních map od originálu.

Všechny tři varianty metody převodu obrysu na funkci však mají také určité nevýhody. Pro převod polygonu na funkci pomocí směrové růžice je důležité, aby směrová růžice vycházela z bodu, který bude pro všechny mentální mapy stejně definovaný (např. z těžiště oblasti, ze středu kružnice polygonu opsané apod.) a tento bod musí zároveň ležet uvnitř oblasti. To znamená buď vytvořit počet směrových růžic adekvátní k počtu mentálních map, nebo ztotožnit mentální mapy nad zvolený bod (což lze však pouze editací, ne funkcí). Další důležitou podmínkou je požadavek na vstupní polygony, které musí být typu „stare-shaped“ (tzn., aby každý paprsek protnul obrys pouze v jednom bodě). Toto omezení vstupních dat je poměrně zásadní, avšak pro velké množství mentálních map splnitelné.

Druhá varianta převodu polygonu na funkci využívá vrcholy polygonu (lomové body), ke kterým počítá vzdálenosti od zvoleného bodu. Jako jediná metoda ze všech tří zmíněných variant zcela zachovává tvar původní mentální mapy. Výhodou této metody oproti předešlé variantě je neomezenost tvaru vstupních mentálních map a vyšší stupeň automatizace metody (není třeba žádné ruční editace ani vytváření směrové růžice). Ovšem výpočet kumulativní vzdálenosti, který je třeba provádět mimo GIS, může být při větším počtu dat poměrně zdoluhavý. Nevýhodou je různý počet a rozmístění lomových bodů, což neumožňuje vytvoření agregované mentální mapy, ani výpočet relativních odchylek. Křivky jednotlivých mentálních map jsou navíc vlivem rozdílného počtu lomových bodů různě podrobné.

Poslední varianta využívající rozložení polygonu (popř. linie) na rovnoměrně rozmístěné body odstraňuje nevýhody obou předešlých metod. Na rozdíl od metody využívající směrovou růžici zde může být vstupem polygon či linie zcela libovolného tvaru, rozložením obrysu každé mentální mapy na pevný počet bodů se navíc odstraní i problém nestejně podrobnosti křivek. Naopak nevýhodou může být zjednodušení tvaru mentální mapy vlivem převodu segmentu na bod. Toto se však dá minimalizovat volbou dostatečně velkého počtu segmentů (resp. bodů). Omezením této metody je i nízká automatizace postupu hodnocení.

Při rozmyšlení, kterou ze tří variant metody převodu obrysu na funkci zvolit, je důležité zvážit charakter vstupních dat, požadavky na výstupy, ale také časovou náročnost jednotlivých metod. Pokud bude potřeba znát odchylky v konkrétních, popř. pro všechny mentální mapy společných směrech, bude nejvhodnější použít směrovou růžici. Pokud bude požadavek na 100% zachování původního tvaru mentální mapy, zvolí se metoda využívající lomové body. V ostatních případech je asi nejvýhodnější využít poslední nabízenou metodu, která dosahuje dobrých výsledků a zdá se být ze všech tří variant časově nejméně náročná.

Pro velký počet mentálních map, které by šly už jen stěží zobrazit do jednoho přehledného grafu, je zde elegantní řešení v podobě metody využívající Fourierových deskriptorů. Pomocí ní lze díky přiloženému skriptu rozdělit mentální mapy do skupin podle předpokládané kvality a do grafu tak zobrazit už vždy jen ty kvalitou si přibližně odpovídající. Fourierovy deskriptory popisují tvar mentální mapy jako celek, nelze tedy pomocí nich zjistit, kde dochází k největším nepřesnostem mapy. Výhodou je invariance vůči měřítku, posunu i rotaci mentální mapy.

Další užitečnou metodou pro hodnocení mentálních map je **metoda hodnocení polohových odchylek přes identické body**. Výpočetní algoritmy geometrických transformací jsou

všeobecně známy, je jen třeba volit takové, které mapu tvarově nedeformují. Kvalita hodnocení se odvíjí od volby identických bodů a vhodného nastavení výpočetních parametrů. Konečné mapové výstupy v podobě mřížky zkreslení, vektorů odchylek, izolinií změn měřítka a orientace jsou názorné a místa, kde je mentální mapa nepřesná se na nich dobře identifikují. Nevýhodou může být časová náročnost výpočtu při požadované vysoké podrobnosti mapových výstupů.

V případě, kdy můžeme některé prvky v mentální mapě považovat za referenční (např. jsou v mapě již předem předkresleny), stačí použít ke ztotožnění nad originál lineární transformaci, která původní mapu nijak nedeformuje. Pak je možné počítat absolutní, podélné i příčné odchylky identických bodů od originálu. Nevýhodou této metody je většinou nerovnoměrné rozdělení referenčních bodů, což vyvolává předpoklad největší chyby v nejvzdálenějších místech od těchto bodů.

Další velmi univerzální metodou ze skupiny hodnocení polohové a tvarové přesnosti mentálních map je **metoda bufferu**. Jedná se o komplexní metodu, která hodnotí zároveň tvar, velikost i polohu mentální mapy. Komplexnost metody však může být i její nevýhodou, jelikož stačí chyba v jednom z uvedených parametrů a velmi to ovlivní výsledné hodnocení (viz příklad v kap. 4.3.5). Výhodou je naopak vysoká automatizace metody pomocí vytvořeného modelu a velká univerzálnost v použití.

Poslední navrženou metodou z této skupiny je metoda **sčítání binárních rastrů**, která pohlíží na soubor hodnocených mentálních map jako na celek. Postupným nasčítáváním všech mentálních map vznikne součtový rastr, ze kterého je patrné, kolik respondentů umístilo daný objekt (oblast) do daného místa. Při vzájemné konfrontaci výsledného rastru s originálem promítnutých do jednoho obrázku lze odhalit, jak je daný prvek (jev) vnímán celým souborem respondentů. Nutností převodu na rastr může při nevhodně zvolené velikosti pixelu dojít ke ztrátě tvarových detailů mentální mapy. Při větším počtu mentálních map je možné za nevýhodu považovat také časovou náročnost výpočtu.

Celkově tedy bylo navrženo 9 metod hodnocení tvarové a polohové přesnosti mentálních map. Jejich souhrn včetně výčtu základních kladů a záporů každé metody ukazuje tab. 4.

5.1.2 Zhodnocení metod hodnocení relativní přesnosti

Druhou skupinu tvoří metody hodnotící vzájemné postavení prvků v mentální mapě, tedy její relativní přesnost (viz tab. 5). Navrženy jsou dvě metody, které se liší především účelem použití. Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes úhly a délky bude použita v případě, kdy jeden objekt v mentální mapě bude nadřazený všem ostatním a budou tak zkoumány pouze prostorové vztahy prvků k tomuto vztažnému objektu. Naopak metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojnic se využije v případech, kde jsou všechny prvky na stejné hierarchické úrovni, a zkoumá se, zda jsou všechny vůči sobě v relativně správném postavení.

Obě metody se dále liší v míře automatizace postupu hodnocení. Zatímco první metoda vyžaduje některé ruční kroky provedené hodnotitelem, metoda porovnávající křížení spojnic je díky přiloženým skriptům plně automatizovaná, stačí jen provést úpravu skriptů pro konkrétní data.

Společnou výhodou obou metod je jejich nezávislost na měřítku, poloze a orientaci (u metody hodnocení přes délky a úhly za předpokladu vhodného zvolení hlavní poloosy – viz kap. 4.4.1) mentálních map. Za nevýhodu těchto metod může být považováno velké riziko vzniku chyby v případech, kde zkoumané objekty leží v podobné či stejné vzdálenosti nebo úhlu od vztažného bodu (resp. kteréhokoli z bodů). Ta se dá v případě první metody obejít pomocí vytvoření intervalů kolem podobných hodnot, v rámci nichž by nezáleželo na pořadí. U druhé metody se žádné intervaly vytvořit nedají, proto je nutné v těchto případech s možností zvýšené chyby počítat.

5.1.3 Zhodnocení metod GIS pro vizualizaci výsledků

V případech, kde se použití GIS softwaru pro analýzu mentálních map nevyplatí (viz níže), je možné jej využít alespoň pro vizualizaci výsledků. Jako příklad byly představeny dvě metody, při kterých by bylo vhodné GIS software pro prezentaci výsledků použít (viz tab. 6). První z nich nabízí vizualizaci pořadí zakreslených prvků v mentální mapě, druhá znázornění výběru a četnosti zakreslených prvků. V obou případech jsou výsledné mapové, popř. grafické výstupy přehlednější a názornější než rozsáhlá tabulka čísel.

Hodnocení tvarové a polohové přesnosti (absolutní)		
METODA	VÝHODY	NEVÝHODY
Jednoduché metody hodnocení přesnosti	jednoduchost rychlost výpočtu	nízká vypovídající schopnost nezohledňují tvar MM
Metoda převedení obrysu na funkci přes směrovou růžici	libovolná volba směrů odečítání hodnot nezávisí na počátku vektorizace MM nezávislá na měřítku a orientaci MM snadná interpretace výsledků	neautomatizované vykreslování růžice vyžaduje "star-shaped" polygony
Metoda převedení obrysu na funkci přes rozložení na lomové body	pro libovolné polygony nedojde k tvarovému zjednodušení MM nezávislá na poloze, měřítku a orientaci MM z velké části automatizovaná	rozdílný počet lomových bodů odečítání hodnot v různých směrech nelze vytvořit agregovanou MM, ani graf relativních odchylek
Metoda převedení obrysu na funkci přes rozložení na daný počet bodů	pro libovolné polygony a linie nezávislá na poloze, měřítku a orientaci MM nastavitelná podrobnost hodnocení (počet bodů)	zjednodušení tvaru MM nízká automatizace
Metoda využívající Fourierovu transformaci	vhodná pro velké množství MM zcela automatizovaná nezávislá na poloze, měřítku a orientaci MM rychlý výpočet	nelze snadno interpretovat výsledné koeficienty pouze pro vytvoření skupin kvalitou si odpovídajících MM
Hodnocení polohových odchylek přes id body u MM bez geometrické reference	vysoká automatizace snadná interpretovatelnost výstupů	delší doba výpočtu
Hodnocení polohových odchylek přes id body u MM s geometrickou referencí	dobře interpretovatelné výstupy MM se nedeformuje nezávislá na poloze, měřítku a orientaci MM	větší předpoklad chyby uprostřed
Metoda bufferu (metoda „najdi v okolí“)	hodnotí zároveň polohu, tvar i velikost MM vysoká automatizace	hodnotí zároveň polohu, tvar i velikost MM
Metoda sčítání binárních rastrů	vysoká automatizace dobrá interpretovatelnost výsledku	časově náročný výpočet nutnost konverze na rastr

Tab. 4 Souhrnná tabulka metod hodnocení tvarové a polohové přesnosti

Hodnocení relativní přesnosti (vzájemných prostorových vazeb mezi prvky)		
METODA	VÝHODY	NEVÝHODY
Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes délky a úhly	jednoduchost, univerzálnost nezávislá na poloze, měřítku a orientaci MM	snadný výskyt chyby u objektů v podobném směru či vzdálenosti od vztažného bodu nízká automatizace
Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojnic	univerzálnost, jednoduchost nezávislá na poloze, měřítku a orientaci MM vysoká automatizace	interpretace výsledků relativně časově náročná zrcadlová MM bude vyhodnocena jako správná

Tab. 5 Souhrnná tabulka metod hodnocení relativní přesnosti

GIS pro vizualizaci výsledků jiných metod		
METODA	VÝHODY	NEVÝHODY
Vizualizace pořadí zakreslených prvků	vstřícné uživatelské prostředí pro mapové výstupy snadná interpretace výsledků	GIS pouze pro vizualizaci
Vizualizace výběru a četností zakreslených prvků	vstřícné uživatelské prostředí pro mapové výstupy snadná interpretace výsledků	GIS pouze pro vizualizaci nutnost tvorby znakového klíče

Tab. 6 Souhrnná tabulka metod využívajících GIS pro vizualizaci

5.2 Vhodnost využití GIS pro hodnocení mentálních map

Jak již bylo řečeno, GIS je v současnosti zatím jen málo využívanou pomůckou v oblasti hodnocení mentálních map. Metody představené v této práci však dokazují, že nástroje GIS mohou být i v této oblasti dobře upotřebitelné.

Základními otázkami, které je třeba si klást při zjišťování, zda se GIS pro hodnocení mentálních map vyplatí, jsou časová náročnost postupu hodnocení a zda výsledky, které mohou být metodami GIS získány, odpovídají požadavkům hodnotitele.

Pro práci v GIS softwaru je nutné mít vstupní data (mentální mapy) v digitální podobě. Metody hodnocení navíc vyžadují jejich (alespoň částečnou) vektorizaci. A právě digitalizace a především vektorizace mentálních map jsou z hlediska času asi nejnáročnějšími kroky celého postupu hodnocení v GIS. Vše se samozřejmě odvíjí od charakteru a počtu mentálních map. Doba zpracování a vyhodnocování mentálních map se dále odvíjí od výpočetní složitosti jednotlivých nástrojů a míry automatizace postupu hodnocení.

V rámci metod podrobně popsanych v této práci, bylo využito hned několik rozdílných druhů GIS nástrojů. Asi nejvíce byly využity funkce z nabídky *Analysis Tools* (počítání vzdáleností mezi body, buffer atd.) a *Data Management Tools* (převody polygonů na linie, výpočty těžišť, určování XY souřadnic bodů, nalezení lomových bodů apod.). Své uplatnění našly i nástroje ze skupiny *Spatial Analyst Tools* (např. interpolační metody), *Spatial Statistics*

Tools (např. výpočet ploch polygonů) a *Conversion Tools* (např. převod polygonu na rastr). Důležitou roli pro některé metody hrály nástroje z extenzí *Georeferencing*, *Topology* a také některé editační nástroje (např. *Divide*). Naopak kvůli charakteru mentálních map zůstala zcela nevyužitá rozsáhlá nabídka nástrojů pracujících s 3D daty a s daty dynamickými.

Vhodným uspořádáním jednotlivých GIS nástrojů do modelů a možností zapojení skriptů se velmi rozšiřuje automatizace a s tím související urychlení postupu hodnocení. Samozřejmostí přitom zůstává, že každému spuštění modelu či skriptu předchází jeho úprava (nastavení parametrů, cest k datům apod.) pro potřeby konkrétních vstupních dat. Ne vždy je však možné tento druh automatizace použít. Např. veškerá práce v režimu editace nebo propojování atributových tabulek a následné výpočty v nich je třeba provádět „ručně“, tedy zvlášť pro každou mentální mapu. Čas strávený těmito kroky je většinou přímo úměrný počtu hodnocených mentálních map. Neautomatizovaným postupem se zvyšuje riziko výskytu náhodné chyby.

Existují i případy, kdy jsou některé kroky v GIS softwaru natolik zdlouhavé, že se časově nevyplatí a je lepší je obejít využitím jiného softwaru (např. tabulkového či textového editoru). Příkladem toho může být počítání kumulativní četnosti hodnot v atributové tabulce u metody převedení obrysu na funkci přes lomové body (viz druhá varianta v kap. 4.3.3), kde byl k tomuto kroku využit software Excel.

Při snaze o integraci metod do softwaru ArcGIS byly odhaleny některé jeho nedostatky, které byly řešeny buď využitím jiného GIS softwaru, nebo programovacího softwaru Matlab, který taktéž umožňuje práci s prostorovými daty. Nevýhodou softwaru ArcGIS je např. nedostatečná nabídka ve výběru a nastavení transformačních algoritmů pro georeferenci mentální mapy k originálu. Proto byl tento krok proveden v software MapAnalyst, který je přímo specializovaný na tuto problematiku (kap. 4.3.4).

Další problém nastal při hledání funkce, která by dokázala identifikovat průsečíky nad daty uloženými v jedné vrstvě (kap. 4.4.2). Ani v tomto případě nebyl žádný vhodný nástroj nalezen a při snaze identifikovat tato místa pomocí vhodně nastavených topologických pravidel bylo zjištěno, že ArcGIS neumožňuje export takto označených „topologicky nevyhovujících“ míst. K vypočtení požadovaných průsečíků tak byl nakonec využit skript v software Matlab.

Velkou výhodou softwaru ArcGIS zůstává rozsáhlé uživatelské prostředí pro tvorbu nejrůznějších mapových výstupů. Disponuje širokými možnostmi v nastavení vzhledu mapy, layoutu a všech kompozičních prvků. Naopak možnost tvorby grafů se zdá být v prostředí ArcGIS pouze okrajovou záležitostí, jelikož zde není (např. oproti programu Excel) mnoho možností v nastavení.

Nutné je však také zmínit, že možnosti GIS jsou mnohem širší, než lze pro hodnocení mentálních map využít. Pokud budou mít vstupní data charakter jednoho ze čtyř typů mentálních map vyčleněných na začátku této práce (viz kap. 4.1.1), zůstane neupotřebená např. velmi rozsáhlá nabídka nástrojů pro práci s 3D daty, nástroje pro modelaci krizových situací, síťových analýz atd.

6 ZÁVĚR

V oblasti hodnocení mentálních map se za dobu více než 50 let, kdy jsou mentální mapy ve vědě využívány, dosáhlo velkých pokroků. Jednou z nejnovějších technologií, zatím jen málo zapojovanou do této problematiky, jsou geografické informační systémy (GIS). Nástroje GIS umožňují efektivní práci s daty, dokážou zpracovávat údaje o poloze objektů společně s jejich vlastnostmi a nabízejí různé možnosti automatizace postupu hodnocení.

Cílem této práce bylo vytvoření metodiky pro hodnocení přesnosti mentálních map, přičemž jednotlivé metody mají být založeny na nástrojích GIS. K dosažení tohoto cíle bylo nejprve nutné definovat pojem mentální mapa a určit, jaké druhy mentálních map je možné pomocí GIS hodnotit. Byly stanoveny čtyři základní typy mentálních map: „plán“, „obrys oblasti“, „trasa mezi dvěma body“ a „prvky zakreslené uvnitř definované oblasti“. Od každého typu byl získán malý vzorek mentálních map, který sloužil jako testovací data při navrhování jednotlivých metod. Dále bylo nutné ke každému vzorku stanovit originál (model skutečnosti), se kterým budou mentální mapy porovnávány.

Celkem bylo navrženo 11 metod hodnocení tvarové a polohové přesnosti mentálních map, a to jak přesnosti absolutní, tak i relativní. Nastíněny byly i 2 metody využívající GIS pro vizualizaci výsledků jiných metod. Přestože byly všechny metody testovány na konkrétních datech, byl při jejich vytváření kladen důraz na co největší univerzálnost postupu pro libovolná, podmínkám vyhovující, vstupní data. Každý postup hodnocení byl navíc pomocí skriptů či modelů co možná nejvíce automatizován. Celkový přehled všech navržených metod včetně diskuze nad jejich výhodami, nevýhodami a jejich vzájemným porovnáním je uveden v kapitole diskuze (viz kap. 5).

Podařilo se najít a nad testovacími daty úspěšně realizovat mnoho metod, které jsou invariantní vůči rozdílnému měřítku, rozdílné orientaci a rozdílnému umístění mentální mapy v prostoru. Přitom právě různorodé a jen těžko definovatelné měřítko mentálních map bylo častým problémem hodnotitelů.

Každá z navržených metod přináší jiný pohled na mentální mapu. Budoucí uživatel (hodnotitel mentálních map) může vybírat a různě kombinovat jednotlivé metody hodnocení a získat tak komplexní analýzu vstupních dat. Zároveň je však nutné zmínit, že ne všechny metody jsou použitelné pro všechny typy mentálních map. Vždy je třeba brát v úvahu požadavky metody na vstupní data a zvolit, jaký postup pro hodnocení je lepší využít (zda použít nabízený model z Model Builderu, upravený skript pro příkazový řádek apod.). Pokaždé je lepší, pokud je to možné, vyzkoušet více metod hodnocení, a to jak pro vzájemné porovnání výsledků, tak také pro kontrolu správné funkčnosti metod pro daná data. Dále je důležité dobře

zvážit nastavení všech potřebných parametrů s ohledem na požadovanou podrobnost výstupu. I zde se vyplatí provést hodnocení vícekrát s různě nastavenými parametry.

Závěrem lze tedy říci, že zapojení metod GIS do hodnocení mentálních map je určitě velkým přínosem. GIS nástroje umožňují snadno provést celou řadu operací, které by jinak vyžadovaly složité matematické výpočty (např. výpočet plochy libovolného polygonu, transformačního klíče, bufferu atd.). U každého kroku se dá ověřit, zda proběhl správně. Navíc pomocí skriptů a modelů je možné celý proces hodnocení velmi urychlit.

Na druhou stranu ne všechny požadavky, které jsou při hodnocení mentálních map kladeny, dokážou nástroje GIS (nebo daný GIS software) provést. Proto je k provedení některých kroků nutné využít jiný software nebo programovací jazyk. Vždy je tak třeba zvážit, zda jsou náklady (časové i finanční) na přípravu a vyhodnocování mentálních map akceptovatelné vzhledem k rozsahu a kvalitě výsledků, které hodnocení v GIS softwaru nabízí.

Všechny metody uvedené v této práci mohou najít v praxi své uplatnění, a pokud budou dodrženy podmínky na vstupní data a vhodně zadané potřebné parametry, podají i odpovídající výsledky. Díky univerzálnosti a automatizaci postupů hodnocení mohou najít své využití i v širších oblastech výzkumu než pouze pro hodnocení mentálních map.

SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

Knižní zdroje

- BARTSCH, H. J. 1983. Matematické vzorce. 1. vyd. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983. 832 s.
- BAYER, T., POTŮČKOVÁ, M., ČÁBELKA, M. 2009. Kartometrická analýza starých map českých zemí: mapa Čech a mapa Moravy od Petra Kaeria. Geografie : Sborník ČGS, 2009, roč. 114, č. 3, s. 230-243. ISSN 1212-0014.
- BLÁHA, J. D. 2008. Geoinformační systémy z pohledu kartografie. In: ŠTYCH, P. et al. Vybrané funkce geoinformačních systémů. Praha: CITT Akademie kosmických technologií, 2008. s. 135-165.
- BLÁHA, J. D. 2010. Kulturní aspekty kartografické tvorby (vstupní studie). Praha, 2010. 48 s. Postupová práce na Filozofické fakultě UK v Praze na katedře teorie kultury (kulturologie). Vedoucí postupové práce Martin Soukup.
- BRAVENÝ, L., ŠTYCH, P. 2008. Digitální model prostorových dat. In: ŠTYCH, P. et al. Vybrané funkce geoinformačních systémů. Praha : CITT Akademie kosmických technologií, 2008. s. 10-28.
- BRAVENÝ, L., ŠTYCH, P., GRILL, S. 2006. Funkční nástroje ArcGIS 9.1. Praha : CITT Akademie kosmických technologií, 2006. 65 s.
- DRBOHLAV, D. 1991. Mentální mapa ČSFR : definice, aplikace, podmíněnost. Geografie : Sborník ČGS, 1991, roč. 96, č. 3, s. 163-176. ISSN 1212-0014.
- DRBOHLAV, D. 1993. Behaviorální přístup v geografii. In SÝKORA, L. Teoretické přístupy a vybrané problémy v současné geografii. Praha : UK v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, 1993. s. 31-41.
- GRILL, S. 2008. Geoprocessing. In: ŠTYCH, P. et al. Vybrané funkce geoinformačních systémů Praha : CITT Akademie kosmických technologií, 2008. s. 51-79.
- GOULD, P., WHITE, R. 1986. Mental Maps. 2nd ed. London : Routledge, 2002. 172 s. ISBN 0-415-08482-2
- GURJANOVAITE, K., BECONYTE, G. 2007. Cartographic analysis of general geographic elements in children mental maps. Geography. Scientific Journal. 2007, vol. 43, no. 1.
- HORÁK, K. 2008. Popis objektů. In: HORÁK, K. et al. Počítačové vidění. Brno : FEKT Vysokého učení technického v Brně, 2004, s. 89-101.
- HUYNH, N. T. et al. 2004. Integrating Mental Maps into a GIS environment with an innovative tool (MMAPIIT). URISA 2004 Public Participation GIS (PPGIS) Conference 2004 (3rd Annual Public Participation Conference, Park Ridge, IL: Urban and Regional Information Systems Association).

- JENNY, B., WEBER, A., HURNI, L. 2007. Visualizing The Planimetric Accuracy of Historical Maps with Map Analyst. Zurich.
- KITCHIN, R. 2000. Collecting and analysing cognitive mapping data. In: KITCHIN, R ; FREUNDSCHUH, S. Cognitive Mapping : Past, present, future. London: Routledge, 2000, s. 9-23. ISBN 0-415-20806-8.
- KLIMEŠOVÁ, D. 2000. Geografické informační systémy a zpracování obrazů. 1. vyd. Praha : Provozně ekonomická fakulta, ČZU v Praze ve vydavatelství CREDIT Praha, 2000. 92 s. ISBN 80-213-0569-X.
- KYNČLOVÁ, M. 2008. Analýza mentálních map pro orientační běh [rukopis]. Praha, 2008. 50 s. vč. příloh + 1 CD-ROM. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě UK na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie. Vedoucí bakalářské práce Tomáš Hudeček.
- KYNČLOVÁ, M., HUDEČEK, T., BLÁHA, J. D. 2009. Hodnocení kartografických děl : analýza mentálních map orientačních běžců. Geografie : Sborník ČGS. 2009, roč. 114, č. 2, s. 105–116. ISSN 1212-0014.
- LYNCH, K. 2004. Obraz města = The Image of the City. Přeložili Lenka Popelová, Jaroslav Huřa. 1. do češtiny přelož. vyd. Praha : Bova Polygon, 2004. 224 s. ISBN 80-7273-094-0.
- PÁSKOVÁ, M. 2008. Kognitivní mapování. In: ZELENKA, J. et al. Výzkum kognitivních a mentálních map. 1. vyd. Hradec Králové : Gaudeamus, UHK, 2008, s. 41-43. ISBN 978-80-7041-323-4.
- PEAKE, S., MOORE, T. 2004. Analysis of distortions in a mental map using GPS and GIS. In: 16th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre (SIRC 2004: A Spatio-temporal Workshop), 29-30 November 2004, Dunedin, New Zealand, pp. 75-84.
- PILAŘOVÁ, Z., BODNÁROVÁ, A. 2008. Zkoumání procesu vytváření mentální mapy se zahrnutím mezikulturního aspektu. In: ZELENKA, J. et al. Výzkum kognitivních a mentálních map. 1. vyd. Hradec Králové: Gaudeamus, UHK, 2008, s. 67–76. ISBN 978-80-7041-323-4.
- SANDERS, R. A., PORTER, P. W. 1974. Shape in revealed mental maps. Annals of the association of american geographers. 1974, vol. 64, no. 2. s. 258-267.
- SIWEK, T., KAŇOK, J. 2000. Vědomí slezské identity v mentální mapě. Spis Filozofické fakulty Ostravské univerzity 136/2000. 1. vyd. Ostrava : Ostravská univerzita. Filozofická fakulta, 2000. 98 s. ISBN 80-7042-576-8.
- SPILKOVÁ, J. 2002. Nový fenomén nákupní centrum : behaviorální přístupy v pražském kontextu. Praha, 2002. 141 s. vč. příloh + 1 CD-ROM. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě UK v Praze na katedře sociální geografie a regionálního rozvoje. Vedoucí diplomové práce Petr Dostál.
- ŠTYCH, P. 2008. Co jsou geoinformační systémy? In: ŠTYCH, P. et al. Vybrané funkce geoinformačních systémů. Praha : CITT Akademie kosmických technologií, 2008. s. 7-9.
- TOBLER, W. R. 1976. The Geometry of Mental Maps. In GOLLEDGE, R. G., RUSTHON, G. Spatial Choice and Spatial Behaviour : Geographic Essays on the Analysis of Preferences and Perceptions. Ohio State University Press : Columbus, 1984. p. 69-81. ISBN 0-8142-0241-1.

- TOLMAN, E. C. 1984. Cognitive maps in rats and man. *The Psychological Review*. 1984, vol. 55, no. 4, pp. 189-208.
- TUAN, Y. 1975. Images and Mental Maps. *Annals of the Association of American Geographers*. 1975, vol. 65, no. 2, p. 205-213.
- VOŽENÍLEK, V. 1997. Mentální mapa a mentální prostorové představy. *Geodetický a kartografický obzor*. 1997, roč. 43/85, č. 1. s. 9-14. ISSN 0016-7096.
- VOŽENÍLEK, V. 2002. Diplomové práce z geoinformatiky. 1. vyd. Olomouc : Vydavatelství UP, 2002. 61 s. ISBN 80-244-0469-9.
- VOŽENÍLEK, V. 2004. Aplikovaná kartografie I : tematické mapy. 2. vyd. Olomouc : Vydavatelství UP, 2004. 187 s. ISBN 80-244-0270-X.
- WATERMAN, S., GORDON, D. 1984. A Quantitative-Comparative Approach to Analysis of Distortion in Mental Maps. *Professional Geographer*. 1984, vol. 36, no. 3, p. 326-337.
- ZELENKA, J. 2008. Využití nestrukturovaného kognitivního mapování a percepčních map pro výzkum vztahu k přírodě. In: ZELENKA, J. et al. Výzkum kognitivních a mentálních map. 1. vyd. Hradec Králové : Gaudeamus, UHK, 2008, s. 140-167. ISBN 978-80-7041-323-4.
- ZELENKA, J. et al. 2008. Výzkum kognitivních a mentálních map. 1. vyd. Hradec Králové : Gaudeamus, UHK, 2008. 192 s. ISBN 978-80-7041-323-4.

Internetové zdroje

- ARCDATA. 2010. Dodávaný software – ARCDATA PRAHA [online]. [cit. 2010-01-28]. Dostupné z URL: <<http://www.arcdata.cz/o-spolecnosti/dodavany-software/>>.
- DOWNS, R. et al. 2009. Geography for life, 2nd Edition. National Geography Standards [online]. [cit. 2010-02-26]. Dostupné z URL: <http://www.ncge.org/files/public/draft_standards_review2.pdf>.
- PETSCHEL, B. 2009. lexcmp : Fast C-style array/string comparison (by lexical ordering) [online]. [cit. 2010-06-10]. Dostupné z URL: <<http://www.mathworks.fr/matlabcentral/fileexchange/23035>>.
- POLÁČKOVÁ, J. 2008. Podoba a struktura kvalifikačních prací na katedře [online]. Praha, 2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupné z URL: <<http://www.natur.cuni.cz/gis>>. Materiál vytvořený J. D. Bláhou pro studenty, kteří píšou svou kvalifikační práci na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy.
- MAPY.CZ. [online]. [cit. 2010-01-17] Dostupné z URL: <<http://www.mapy.cz/>>

Další zdroje

- ARCDATA. 2003. Digitální geografická databáze ArcČR 500. Verze 2.0.
- ESRI DATA & MAPS. 2004. World Continents. Redlands (California, USA): ESRI, 2004. Vektorová digitální vrstva hranic kontinentů světa ve formátu shapefile v měřítku 1 : 15 000 000.
- ESRI. 2008. ArcGIS Desktop Help (desktop nápověda softwaru ArcGIS).
- THE MATHWORKS. 2007. Matlab Help (desktop nápověda softwaru Matlab).

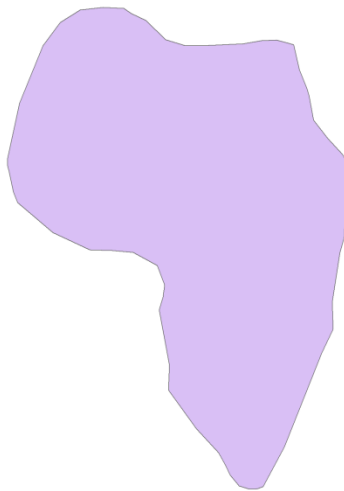
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Ukázka mentálních map „obrys Afriky“ a originál (6 obr., zmenšeno)
- Příloha 2 Ukázka mentální mapy „plán centra města Jilemnice“ a originál (3 obr., zmenšeno)
- Příloha 3 Ukázka mentální mapy „cesta do zaměstnání“ a originál (2 obr., zmenšeno)
- Příloha 4 Ukázka mentální mapy „krajská města v obrysu Česka“ a originál (3 obr., zmenšeno)
- Příloha 5 Metoda převedení obrysu na funkci přes směrovou růžici (skript pro příkazový řádek v softwaru ArcGIS, zkráceno)
- Příloha 6 Metoda převedení obrysu na funkci přes lomové body (skript pro příkazový řádek v softwaru ArcGIS, zkráceno)
- Příloha 7 Metoda využívající Fourierovu transformaci (skript v softwaru Matlab)
- Příloha 8 Výsledky transformací ze softwaru MapAnalyst (2 reporty, 2 tabulky)
- Příloha 9 Metoda sčítání binárních rastrů (skript pro příkazový řádek v softwaru ArcGIS, zkráceno)
- Příloha 10 Metoda hodnocení vzájemné polohy prvků přes křížení spojnic (skript v softwaru Matlab)
- Příloha 11 CD-ROM s elektronickou verzí práce navíc obsahuje:
- všechny mentální mapy a jim příslušící originály v digitální podobě
 - databázi pro každou metodu se všemi vstupními daty, dílčími výstupy a výstupy
 - skripty v úplném znění v digitální podobě
 - toolbox s uloženými modely z ModelBuilderu

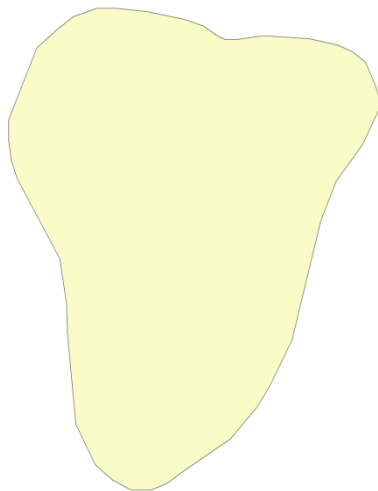
Příloha 1



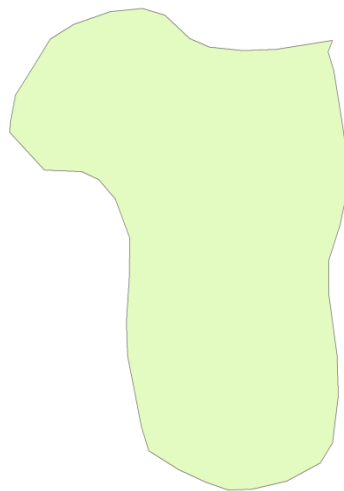
mentální mapa Afriky



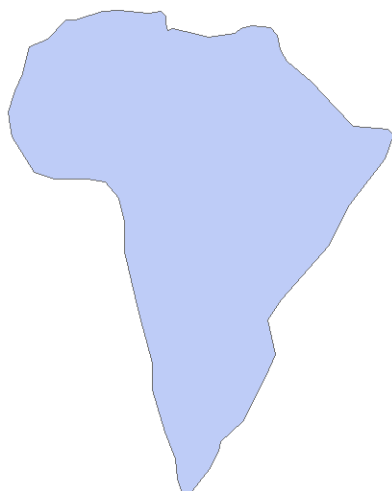
mentální mapa Afriky



mentální mapa Afriky



mentální mapa Afriky

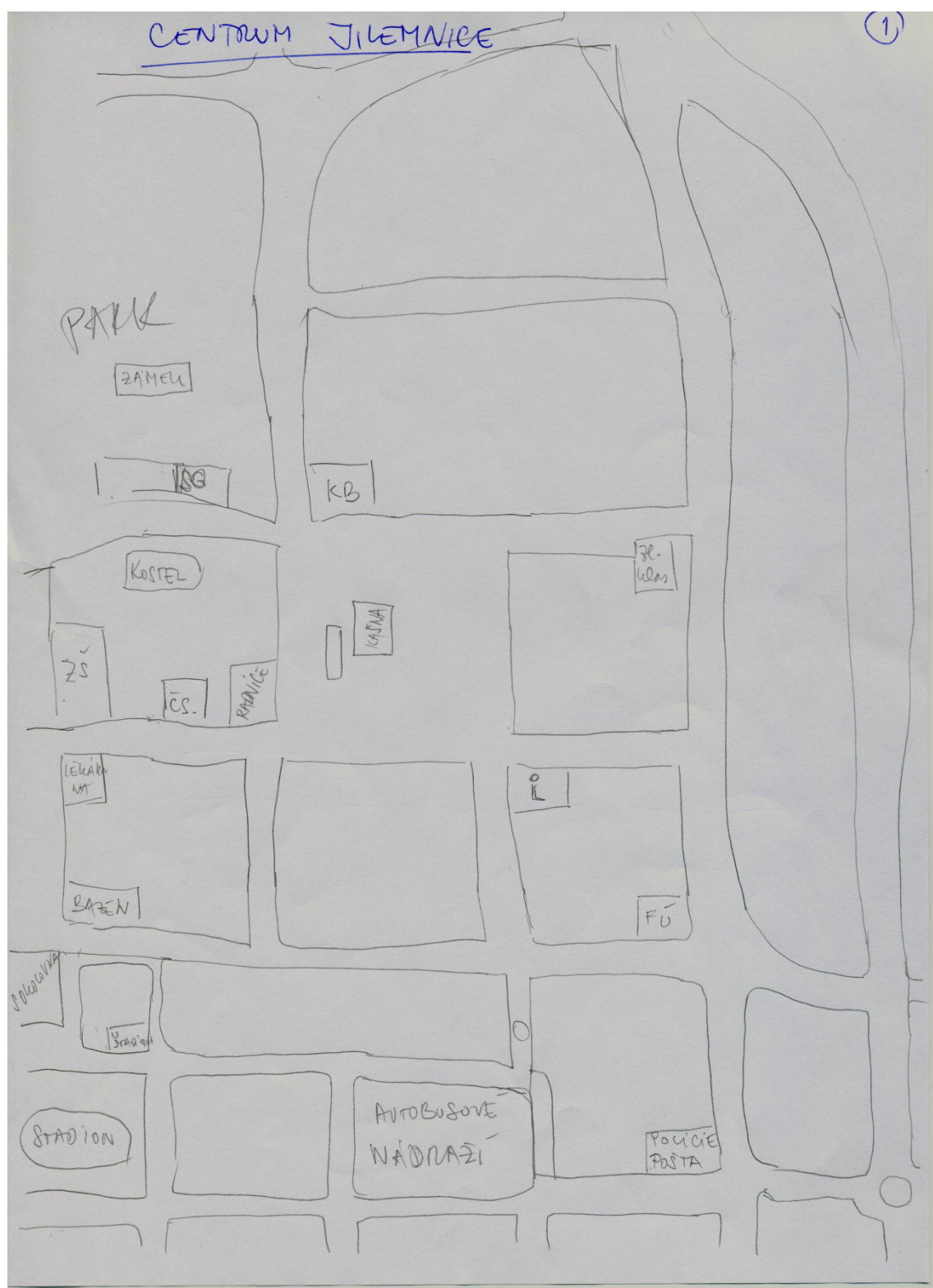


mentální mapa Afriky



originál

Příloha 2

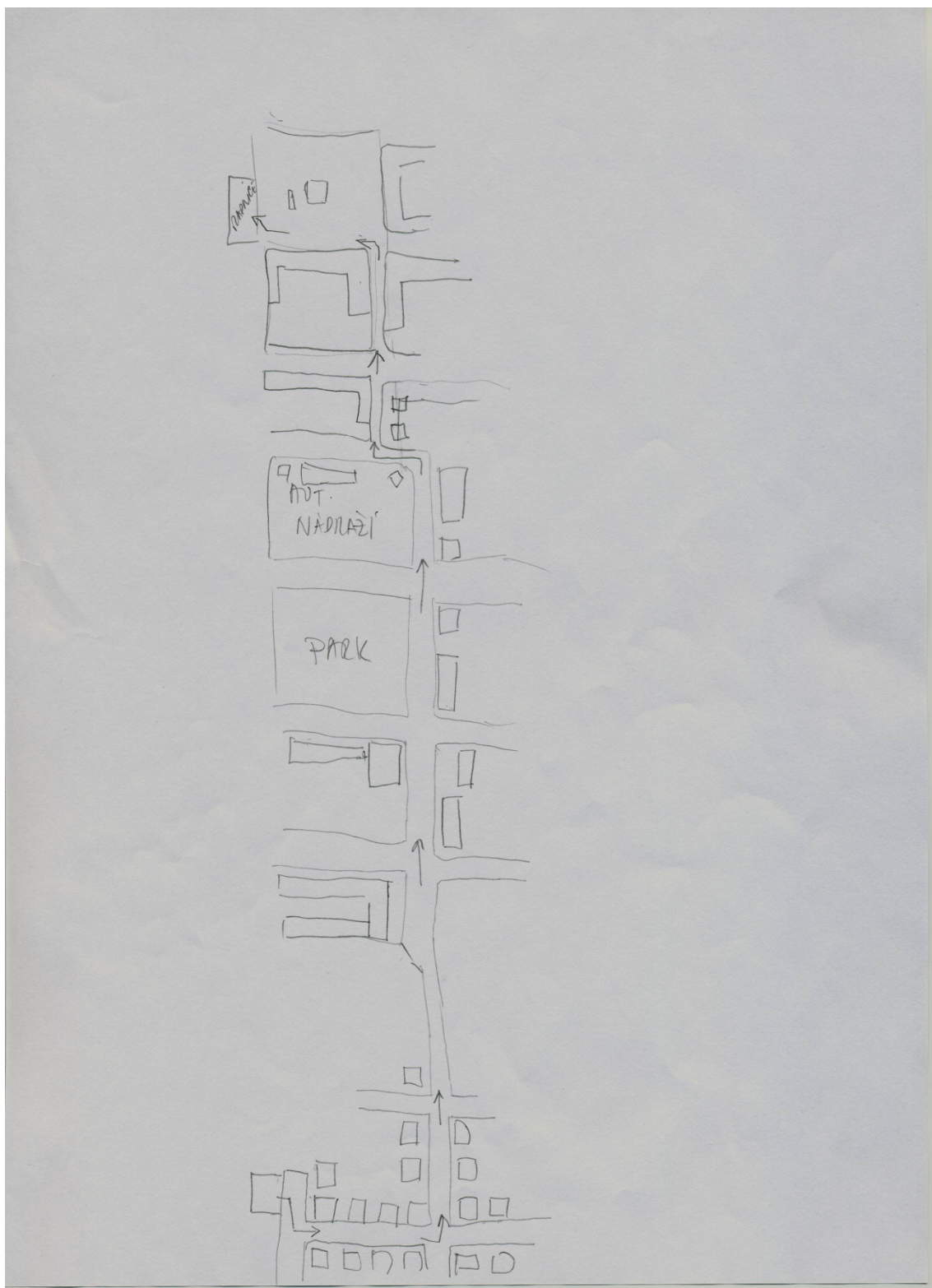


mentální mapa centra města Jilemnice



originál

Příloha 3

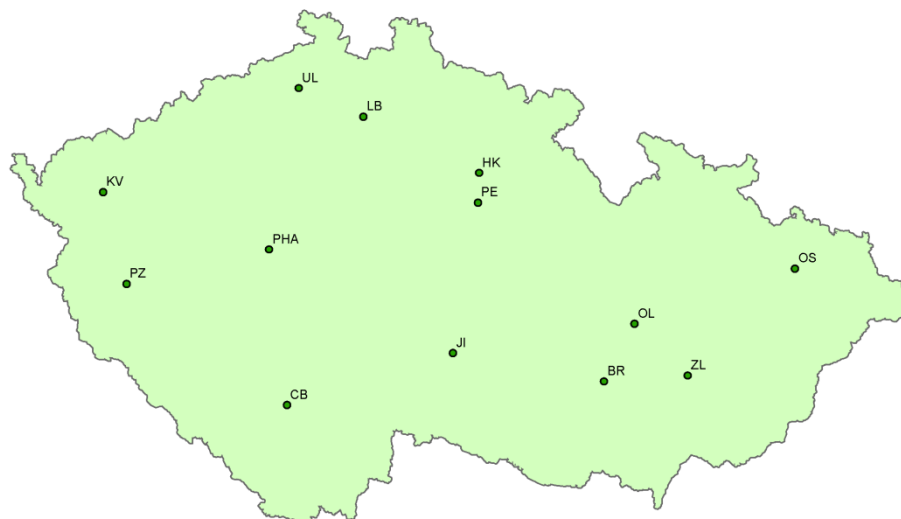


mentální mapa „cesta do zaměstnání“

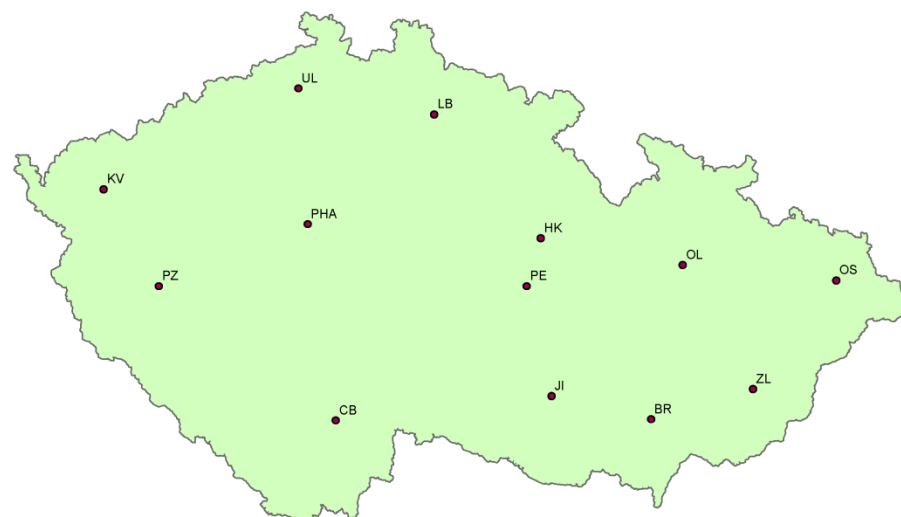


originál

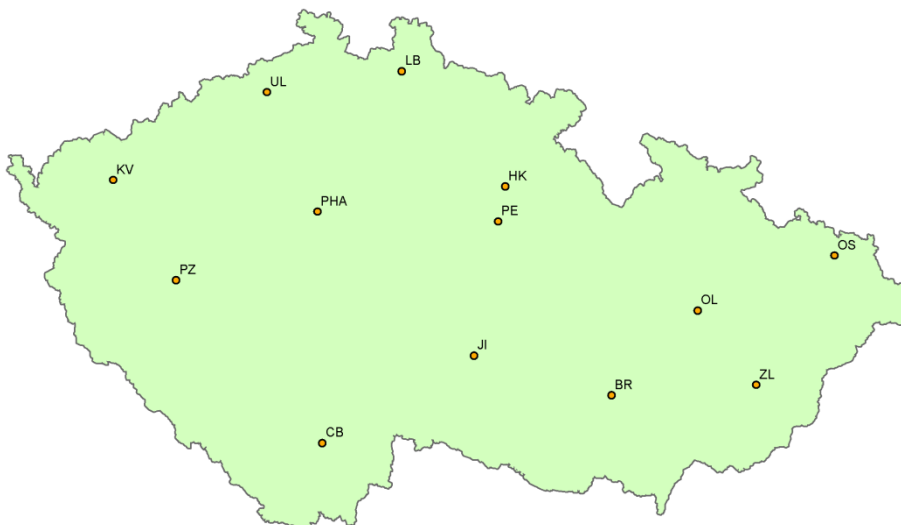
Příloha 4



mentální mapa krajských měst Česka



mentální mapa krajských měst Česka



originál

Příloha 5

```
Clip_analysis "smerova ruzice" Afrika_original "C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_ruzice\Afrika_original_clip" #
Clip_analysis "smerova ruzice" Afrika_1 "C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_ruzice\Afrika_1_clip" #
Clip_analysis "smerova ruzice" Afrika_2 "C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_ruzice\Afrika_2_clip" #
Clip_analysis "smerova ruzice" Afrika_3 "C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_ruzice\Afrika_3_clip" #
Clip_analysis "smerova ruzice" Afrika_4 "C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_ruzice\Afrika_4_clip" #
Clip_analysis "smerova ruzice" Afrika_5 "C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_ruzice\Afrika_5_clip" #
```

```
AddField Afrika_original_clip delka DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED #
Afrika_original_clip
AddField Afrika_1_clip delka DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED # Afrika_1_clip
AddField Afrika_2_clip delka DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED # Afrika_2_clip
AddField Afrika_3_clip delka DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED # Afrika_3_clip
AddField Afrika_4_clip delka DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED # Afrika_4_clip
AddField Afrika_5_clip delka DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED # Afrika_5_clip
```

Poznámka: skript je zde uveden ve zkrácené podobě pouze pro 5 mentálních map a originál. Příkazy pro zpracování dalších mentálních map jsou vytvářeny analogicky. Skript v úplném znění včetně pokynů k použití je na přiloženém CD-ROM.

Příloha 6

FeatureToLine Afrika_puvodni_1
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_1_line # ATTRIBUTES
FeatureToLine Afrika_puvodni_2
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_2_line # ATTRIBUTES
FeatureToLine Afrika_puvodni_3
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_3_line # ATTRIBUTES
FeatureToLine Afrika_puvodni_4
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_4_line # ATTRIBUTES
FeatureToLine Afrika_puvodni_5
FeatureToLine Afrika_rob_original
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_original_line #
ATTRIBUTES

FeatureVerticesToPoints Afrika_1_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_1_bodova ALL
FeatureVerticesToPoints Afrika_2_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_2_bodova ALL
FeatureVerticesToPoints Afrika_3_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_3_bodova ALL
FeatureVerticesToPoints Afrika_4_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_4_bodova ALL
FeatureVerticesToPoints Afrika_5_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_5_bodova ALL
FeatureVerticesToPoints Afrika_original_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_original_bodova ALL

FeatureToPoint Afrika_1_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_1_teziste CENTROID
FeatureToPoint Afrika_2_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_2_teziste CENTROID
FeatureToPoint Afrika_3_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_3_teziste CENTROID
FeatureToPoint Afrika_4_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_4_teziste CENTROID
FeatureToPoint Afrika_5_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_5_teziste CENTROID
FeatureToPoint Afrika_original_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_original_tezist CENTROID

PointDistance Afrika_1_bodova Afrika_1_teziste
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\vzdal_lomove_Af_1 #
PointDistance Afrika_2_bodova Afrika_2_teziste
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\vzdal_lomove_Af_2 #
PointDistance Afrika_3_bodova Afrika_3_teziste
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\vzdal_lomove_Af_3 #
PointDistance Afrika_4_bodova Afrika_4_teziste
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\vzdal_lomove_Af_4 #
PointDistance Afrika_5_bodova Afrika_5_teziste
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\vzdal_lomove_Af_5 #
PointDistance Afrika_original_bodova Afrika_original_tezist
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\vzdal_lomove_Af_original #

SplitLine Afrika_1_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_1_segmenty
SplitLine Afrika_2_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_2_segmenty
SplitLine Afrika_3_line
C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_3_segmenty

SplitLine Afrika_4_line

C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_4_segmenty

SplitLine Afrika_5_line

C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_5_segmenty

SplitLine Afrika_original_line

C:\databaze\metoda_prevedeni_na_funkci.mdb\metoda_lomove_body\Afrika_original_segmenty

AddField Afrika_1_segmenty rozestup DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED #

Afrika_1_segmenty

AddField Afrika_2_segmenty rozestup DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED #

Afrika_2_segmenty

AddField Afrika_3_segmenty rozestup DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED #

Afrika_3_segmenty

AddField Afrika_4_segmenty rozestup DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED #

Afrika_4_segmenty

AddField Afrika_5_segmenty rozestup DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED #

Afrika_5_segmenty

AddField Afrika_original_segmenty rozestup DOUBLE 15 3 ## NULLABLE NON_REQUIRED #

Afrika_original_segmenty

Poznámka: skript je zde uveden ve zkrácené podobě pouze pro 5 mentálních map a originál.

Příkazy pro zpracování dalších mentálních map jsou vytvářeny analogicky. Skript v úplném znění včetně pokynů k použití je na přiloženém CD-ROM.

Příloha 7

```
clc;
clear;
close all
format long g
% načtení vstupních dat (soubor vstup.mat)
% v souboru vstup.mat jsou jako vektor uloženy souřadnice bodů jednotlivých MM
(mm1 - mm5) a originálu (aaa)
load vstup

% výpočet těžišť
ta = mean(aaa);
t1 = mean(mm1);
t2 = mean(mm2);
t3 = mean(mm3);
t4 = mean(mm4);
t5 = mean(mm5);

% vytvoření radiální funkce
fa = (aaa(:,1) - ta(1)) + i * (aaa(:,2) - ta(2));
f1 = (mm1(:,1) - t1(1)) + i * (mm1(:,2) - t1(2));
f2 = (mm2(:,1) - t2(1)) + i * (mm2(:,2) - t2(2));
f3 = (mm3(:,1) - t3(1)) + i * (mm3(:,2) - t3(2));
f4 = (mm4(:,1) - t4(1)) + i * (mm4(:,2) - t4(2));
f5 = (mm5(:,1) - t5(1)) + i * (mm5(:,2) - t5(2));

% výpočet Fourierovy transformace
fft_fa = fft(fa);
fft_f1 = fft(f1);
fft_f2 = fft(f2);
fft_f3 = fft(f3);
fft_f4 = fft(f4);
fft_f5 = fft(f5);

% první koeficient nese pouze informaci o posunu MM, nahradí se nulou
fft_fa(1) = 0;
fft_f1(1) = 0;
fft_f2(1) = 0;
fft_f3(1) = 0;
fft_f4(1) = 0;
fft_f5(1) = 0;

% výpočet Fourierových deskriptorů
% invariantní vůči poloze a měřítku
fd_fa = fft_fa ./ fft_fa(2);
fd_f1 = fft_f1 ./ fft_f1(2);
fd_f2 = fft_f2 ./ fft_f2(2);
fd_f3 = fft_f3 ./ fft_f3(2);
fd_f4 = fft_f4 ./ fft_f4(2);
fd_f5 = fft_f5 ./ fft_f5(2);

% výpočet absolutních hodnot Fourierových deskriptorů
% invariantní vůči rotaci
abs_fd_fa = abs(fd_fa);
abs_fd_f1 = abs(fd_f1);
abs_fd_f2 = abs(fd_f2);
abs_fd_f3 = abs(fd_f3);
abs_fd_f4 = abs(fd_f4);
abs_fd_f5 = abs(fd_f5);

% proměnná počet udává kolik prvních FD je bráno do výpočtu odchylky
pocet = 50;
% výpočet výsledné odchylky
chyba1 = sum((abs_fd_fa(1:pocet) - abs_fd_f1(1:pocet)).^2)
chyba2 = sum((abs_fd_fa(1:pocet) - abs_fd_f2(1:pocet)).^2)
chyba3 = sum((abs_fd_fa(1:pocet) - abs_fd_f3(1:pocet)).^2)
chyba4 = sum((abs_fd_fa(1:pocet) - abs_fd_f4(1:pocet)).^2)
chyba5 = sum((abs_fd_fa(1:pocet) - abs_fd_f5(1:pocet)).^2)
```

Příloha 8

Report afinní transformace (zkráceno)

MapAnalyst Version 1.3.13

Affine (5 Parameters)

Transformation parameters and standard deviations computed with 21 points:

x0 Translation Horizontal: 113.5218663977 +/- 0.00278
 y0 Translation Vertical: -2437.1978774108 +/- 0.00278
 mx Horizontal Scale Factor: 2421.9386659988 +/- 110.38887
 my Vertical Scale Factor: 2421.9386659988 +/- 121.70330
 alpha Rotation [deg ccw]: 2.6637229200 +/- 1.97297

Standard deviation and mean position error for all points:

Standard Deviation in Destination Map [m]: 30.1362035719
 Standard Deviation in Source Map [m]: 0.0127547262
 Mean Position Error in Destination Map [m]: 42.6190278098
 Mean Position Error in Source Map [m]: 0.0180379068

Afinní transformace – odchylky na bodech

Link Name	X Old Map [m]	Y Old Map [m]	X New Map	Y New Map	Vector Length	Vector Azimuth
1	0,24	0,02	1724615,37	6544695,16	44,83	297,55
2	0,20	0,07	1724465,23	6544841,77	56,56	316,59
3	0,20	0,14	1724423,74	6545162,88	18,12	191,51
4	0,20	0,21	1724346,17	6545341,47	51,62	63,19
5	0,10	0,20	1724013,99	6545341,03	18,21	53,62
6	0,12	0,18	1724144,41	6545260,96	21,05	328,38
7	0,15	0,14	1724207,33	6545159,14	8,80	131,24
8	0,11	0,12	1724064,33	6545144,27	32,03	141,18
9	0,15	0,07	1724166,14	6544920,05	25,35	85,97
10	0,18	0,05	1724283,97	6544764,47	54,33	16,39
11	0,08	0,06	1724025,43	6544900,60	54,78	259,29
12	0,09	0,08	1724032,30	6544973,82	32,15	255,84
13	0,04	0,10	1723829,81	6545080,21	27,45	184,76
14	0,05	0,08	1723806,93	6545009,28	40,65	156,97
15	0,04	0,14	1723846,97	6545185,45	15,56	256,90
16	0,04	0,20	1723786,34	6545472,59	67,54	148,66
17	0,08	0,16	1723956,79	6545223,20	14,46	358,91
18	0,07	0,10	1723988,83	6545040,17	36,13	255,05
19	0,18	0,10	1724297,70	6545033,30	13,65	114,03
20	0,15	0,21	1724171,86	6545302,14	64,35	37,51
21	0,23	0,14	1724530,04	6545170,95	25,81	179,67

Report Helmertovy transformace (zkráceno)

MapAnalyst Version 1.3.13

Helmert (4 Parameters)

Transformation parameters and standard deviations computed with 21 points:

x0 Translation Horizontal [m]: 94.5194591916 +/- 0.00276
y0 Translation Vertical [m]: -2368.8692628405 +/- 0.00276
m Scale Factor: 2373.5874413158 +/- 79.78806
alpha Rotation: [deg ccw] 2.2817347046 +/- 1.92600

Standard deviation and mean position error for all points:

Standard Deviation in Destination Map [m]: 30.0620540313
Standard Deviation in Source Map [m]: 0.0126652398
Mean Position Error in Destination Map [m]: 42.5141645239
Mean Position Error in Source Map [m]: 0.0179113538

Helmertova transformace – odchylky na bodech

Link Name	X Old Map [m]	Y Old Map [m]	X New Map	Y New Map	Vector Length	Vector Azimuth
1	0,24	0,02	1724615,37	6544695,16	49,26	284,01
2	0,20	0,07	1724465,23	6544841,77	57,70	309,97
3	0,20	0,14	1724423,74	6545162,88	17,09	217,57
4	0,20	0,21	1724346,17	6545341,47	52,47	46,50
5	0,10	0,20	1724013,99	6545341,03	24,77	40,02
6	0,12	0,18	1724144,41	6545260,96	27,18	334,75
7	0,15	0,14	1724207,33	6545159,14	5,52	124,46
8	0,11	0,12	1724064,33	6545144,27	32,86	139,90
9	0,15	0,07	1724166,14	6544920,05	24,90	98,57
10	0,18	0,05	1724283,97	6544764,47	46,72	15,62
11	0,08	0,06	1724025,43	6544900,60	51,84	247,57
12	0,09	0,08	1724032,30	6544973,82	30,26	241,80
13	0,04	0,10	1723829,81	6545080,21	33,21	170,23
14	0,05	0,08	1723806,93	6545009,28	51,76	152,25
15	0,04	0,14	1723846,97	6545185,45	8,77	243,74
16	0,04	0,20	1723786,34	6545472,59	65,19	141,06
17	0,08	0,16	1723956,79	6545223,20	18,16	11,05
18	0,07	0,10	1723988,83	6545040,17	32,68	244,64
19	0,18	0,10	1724297,70	6545033,30	10,68	126,11
20	0,15	0,21	1724171,86	6545302,14	71,59	29,82
21	0,23	0,14	1724530,04	6545170,95	22,62	204,37

Příloha 9

```
Merge Afrika_puvodni_1;obalka_okolo_pomocna C:\... \Merge_1.shp
Merge Afrika_puvodni_2;obalka_okolo_pomocna C:\... \Merge_2.shp
Merge Afrika_puvodni_3;obalka_okolo_pomocna C:\... \Merge_3.shp
Merge Afrika_puvodni_4;obalka_okolo_pomocna C:\... \Merge_4.shp
Merge Afrika_puvodni_5;obalka_okolo_pomocna C:\... \Merge_5.shp
```

```
PolygonToRaster Merge_1 X C:\... \r_1.img CELL_CENTER X 20000
PolygonToRaster Merge_2 X C:\... \r_2.img CELL_CENTER X 20000
PolygonToRaster Merge_3 X C:\... \r_3.img CELL_CENTER X 20000
PolygonToRaster Merge_4 X C:\... \r_4.img CELL_CENTER X 20000
PolygonToRaster Merge_5 X C:\... \r_5.img CELL_CENTER X 20000
```

```
Plus_sa r_1 r_2 "C:\... \soucet_1"
Plus_sa soucet_1 r_3 "C:\... \soucet_2"
Plus_sa soucet_2 r_4 "C:\... \soucet_3"
Plus_sa soucet_3 r_5 "C:\... \soucet_4"
Plus_sa soucet_4 r_6 "C:\... \soucet_5"
```

Poznámka: skript je zde uveden ve zkrácené podobě pouze pro 5 mentálních map. Příkazy pro zpracování dalších mentálních map jsou vytvářeny analogicky. Skript v úplném znění včetně pokynů k použití je na přiloženém CD-ROM.

Příloha 10

soubor spust_zde.m

```
spocti_pruseciky('krajaska_mesta.shp', 'spojnice.shp', 'pruseciky.shp')
```

soubor spocti_pruseciky.m

```
function spocti_pruseciky (vstup, linie, pruseciky)
S = shaperead(vstup);

% VYTVORENÍ SPOJNIC KAZDY S KAZDYM
cisloSpoje = 1
spoj = struct;
% bereme postupně všechny dvojice bodu
for i=1:size(S,1)
    for j=i:size(S,1)
        if i ~= j
            % není to ten samý bod, vytvoř spojnici
            spoj(cisloSpoje).X = [S(i).X S(j).X NaN]
            spoj(cisloSpoje).Y = [S(i).Y S(j).Y NaN]
            if (lexcmp(S(i).mesto, S(j).mesto) == -1)
                id = [S(i).mesto '-' S(j).mesto]
            else
                id = [S(j).mesto '-' S(i).mesto]
            end
            spoj(cisloSpoje).ID = id
            % podmínka zaručí, že jako první bude uvedeno město, které
            % je dříve v abecedě = nutné pro následné porovnávání
            % nutné upravit název ID sloupce dle potřeby
            spoj(cisloSpoje).Geometry = 'Line'
            cisloSpoje = cisloSpoje + 1
        end
    end
end

shapewrite(spoj, linie)
% vytvoř shapefile spojníc

% VYPOČTENÍ PRŮSEČÍKŮ SPOJNIC
cisloBodu = 1;
body = struct;
% idea stejná jako u bodu, bereme postupně všechny dvojice spojníc
for i=1:size(spoj, 2)
    for j=i:size(spoj, 2)
        if i ~= j
            % není to ta samá spojnice, spočítej průsečík (vlastní funkce)
            bod = prusecik(spoj(i).X(1), spoj(i).Y(1), ...
                           spoj(i).X(2), spoj(i).Y(2), ...
                           spoj(j).X(1), spoj(j).Y(1), ...
                           spoj(j).X(2), spoj(j).Y(2));

            if bod ~= false
                body(cisloBodu).X = bod(1);
                body(cisloBodu).Y = bod(2);
                if (lexcmp(spoj(i).ID, spoj(j).ID) == -1)
                    kod = [spoj(i).ID ',' spoj(j).ID]
                else
                    kod = [spoj(j).ID ',' spoj(i).ID]
                end
                % podmínka zaručí, že jako první bude uvedena spojnice,
                % která je dříve v abecedě = nutné pro porovnávání
                body(cisloBodu).SPOJ = kod
                % nastavení atributů ve výsledném shapefilu

                body(cisloBodu).Geometry = 'Point';
                cisloBodu = cisloBodu + 1
            end
        end
    end
end

end
```



```
shapewrite(body, pruseciky)
%vytvor shapefile pruseciku
```

soubor prusecik.m

```
function bod = prusecik (x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4)
% vstupem jsou souřadnice 4 bodů, přičemž [x1,y1] a [x2,y2] jsou % počátečním
a koncovým bodem první úsečky a [x3,y3] a [x4,y4] jsou % počátečním a koncovým
bodem druhé úsečky
a1 = [x1,y1];
a2 = [x2,y2];
b1 = [x3,y3];
b2 = [x4,y4];

% vyloučení dvojic úseček, které mají společný počáteční bod (v tomto případě
krajská města)
if ( min(a1==b1) == 1 || min(a1==b2) == 1 || min(a2==b1) == 1 || min(a2==b2)
== 1);
    bod = false;
    return
end

% vypočtení parametrů přímky k a q (rovnice přímky y = kx+q)
k1 = (y2-y1)/(x2-x1);
q1 = y1-(k1*x1);
k2 = (y3-y4)/(x3-x4);
q2 = y3-(k2*x3);

% vypočtení souřadnic průsečíku přímek
x = (q1-q2)/(k2-k1)
y = (q1*k2-q2*k1)/(k2-k1)

% ověření, zda se protínají úsečky (a ne pouze přímky)
if
((x1<x&& x<x2) && (x3<x&& x<x4)) || ((x2<x&& x<x1) && (x3<x&& x<x4)) || ((x2<x&& x<x1) && (x4
<x&& x<x3)) || ((x1<x&& x<x2) && (x4<x&& x<x3))

    bod(1)= x
    bod(2)= y
else
    bod = false;
end
```

Poznámka: skript pro funkci „lexcmp.m“ (Petschel, 2009) je na přiloženém CD-ROM.